पढ़ें और सीखें योजना

राकेट एक परिचय

मणीश चन्द्र उत्तम

विभागीय सहयोग
राम दुलार शुक्ल

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING

अक्टूबर 1988
आश्विन 1910
P.D. 10T—A.K.S.

प्रकाशन सहयोग

सी.एन. राव : **अध्यक्ष, प्रकाशन विभाग**

प्रभाकर द्विवेदी : **मुख्य संपादक**
आशीष सिन्हा : **संपादक**
पूरनमल : **सहायक संपादक**
ओमप्रकाश : **सम्पादन सहायक**
राम निवास भारद्वाज: **सम्पादन सहायक**

यू. प्रभाकर राव : **मुख्य उत्पादन अधिकारी**
डी.साई. प्रसाद : **उत्पादन अधिकारी**
चंद्र प्रकाश टंडन: **कला अधिकारी**
रती राम : **उत्पादन सहायक**

मूल्य : रु० 8.45

प्रकाशन विभाग से सचिव, राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्, श्री अरविन्द मार्ग, नई दिल्ली 110016 द्वारा प्रकाशित तथा एन.के.एन्टरप्राइजेज़ 4782/2-23, अंसारी रोड, दरियागंज, नई दिल्ली 110002 द्वारा मुद्रित।

प्राक्कथन

विद्यालय शिक्षा के सभी स्तरों के लिए अच्छे शिक्षाक्रम, पाठ्यक्रमों और पाठ्यपुस्तकों के निर्माण की दिशा में हमारी परिषद् पिछले पच्चीस वर्षों से कार्य कर रही है। हमारे कार्य का प्रभाव भारत के सभी राज्यों और संघशासित प्रदेशों में प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से पड़ा है, और इस पर परिषद् के कार्यकर्ता संतोष का अनुभव कर सकते हैं।

किन्तु हमने देखा है कि अच्छे पाठ्यक्रम और अच्छी पाठ्यपुस्तकों के बावजूद हमारे विद्यार्थियों की रुचि स्वतः पढ़ने की ओर अधिक नहीं बढ़ती। इसका एक मुख्य कारण अवश्य ही हमारी दूषित परीक्षा-प्रणाली है जिसमें पाठ्यपुस्तकों द्वारा दिए गए ज्ञान की ही परीक्षा ली जाती है। इस कारण बहुत ही कम विद्यालयों में कोर्स के बाहर की पुस्तकों को पढ़ने के लिए प्रोत्साहन दिया जाता है। अतिरिक्त पठन में बच्चों की रुचि न होने का एक बड़ा कारण यह भी है कि विभिन्न आयुवर्ग के बालकों के लिए कम मूल्य की अच्छी पुस्तकें पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध भी नहीं हैं। यद्यपि पिछले कुछ वर्षों में इस कमी को पूरा करने के लिए कुछ काम प्रारंभ हुआ है पर वह बहुत ही नाकाफी है।

इस दृष्टि से परिषद् ने बच्चों की पुस्तकों के लेखन की दिशा में एक महत्त्वाकांक्षी योजना प्रारंभ की है। इसके अंतर्गत "पढ़ें और सीखें" शीर्षक से एक पुस्तकमाला तैयार करने का विचार है जिसमें विभिन्न आयुवर्ग के बच्चों के लिए सरल भाषा और रोचक शैली में अनेक विषयों पर बड़ी संख्या में पुस्तकें तैयार की जाएँगी। हम आशा करते हैं कि बहुत शीघ्र ही हिन्दी में हम निम्नलिखित विषयों पर 50 पुस्तकें प्रकाशित कर सकेंगे।

(क) शिशुओं के लिए पुस्तकें

(ख) कथा साहित्य
(ग) जीवनियाँ
(घ) देश-विदेश परिचय
(ङ) सांस्कृतिक विषय
(च) वैज्ञानिक विषय
(छ) सामाजिक विज्ञान के विषय

इन पुस्तकों के निर्माण में हम प्रसिद्ध लेखकों, वैज्ञानिकों,अनुभवी अध्यापकों और योग्य कलाकारों का सहयोग ले रहे हैं। प्रत्येक पुस्तक के प्रारूप पर भाषा, शैली और विषय-विवेचन की दृष्टि से सामूहिक विचार करके उसे अंतिम रूप दिया जाता है।

परिषद् इस माला की पुस्तकों को लागत-मूल्य पर ही प्रकाशित कर रही है ताकि ये देश के हर कोने में पहुँच सकें। भविष्य में इन पुस्तकों का अन्य भारतीय भाषाओं में अनुवाद कराने की भी योजना है।

हम आशा करते हैं कि शिक्षाक्रम, पाठ्यक्रम और पाठ्यपुस्तकों के क्षेत्र में किए गए कार्य की भाँति ही परिषद् की इस योजना का भी व्यापक स्वागत होगा।

प्रस्तुत पुस्तक "राकेट एक परिचय" के लेखन के लिए श्री मणीश चन्द्र उत्तम ने हमारा निमंत्रण स्वीकार किया जिसके लिए हम उनके अत्यंत आभारी हैं। जिन-जिन विद्वानों, अध्यापकों और कलाकारों से इस पुस्तक को अंतिम रूप देने में हमें सहयोग मिला है उनके प्रति मैं कृतज्ञता ज्ञापित करता हूँ।

हिन्दी में "पढ़ें और सीखें" पुस्तकमाला की यह योजना प्रो. अनिल विद्यालंकार के मार्ग-दर्शन में चल रही है। उनके सहयोगियों में श्रीमती संयुक्ता लूदरा, डा. रामजन्म शर्मा, डा. सुरेश पांडेय, डा. हीरालाल बाछोतिया और डा. अनिरुद्ध राय सक्रिय सहयोग दे रहे हैं। इस योजना के संचालन में डा. बाछोतिया विशेष रूप से सक्रिय हैं।

इस योजना में विज्ञान की पुस्तकों के लेखन का मार्ग-दर्शन दिल्ली विश्वविद्यालय के भूतपूर्व कुलपति और राजस्थान विश्वविद्यालय में वर्तमान प्रोफेसर-एमेरिटस डा. रामचरण मेहरोत्रा कर

रहे हैं। विज्ञान की पुस्तकों के लेखन के संयोजन और अंतिम संपादन आदि का दायित्व हमारे विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग के प्रो. रामदुलार शुक्ल वहन कर रहे हैं।

मैं डा. रामचरण मेहरोत्रा को और अपने सभी सहयोगियों को हार्दिक धन्यवाद और बधाई देता हूँ।

इन पुस्तकों को इतने अच्छे ढंग से प्रकाशित करने के लिए मैं परिषद् के प्रकाशन विभाग के अध्यक्ष श्री सी०एन०राव और मुख्य संपादक श्री प्रभाकर द्विवेदी को हार्दिक धन्यवाद देता हूँ।

इस माला की पुस्तकों पर बच्चों, अध्यापकों और बच्चों के माता-पिता की प्रतिक्रिया का हम स्वागत करेंगे ताकि इन पुस्तकों को और भी उपयोगी बनाने में हमें सहयोग मिल सके।

नई दिल्ली

पी०एल० मल्होत्रा
निदेशक
राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्

दो शब्द

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद् (एन०सी०ई०आर०टी०) की "पढ़े और सीखे" योजना के अंतर्गत यह एक छोटा सा प्रयास है। जब परिषद् के प्रगतिशील निदेशक डा. पी. एल. मल्होत्रा ने मुझे इस दिशा में 'विज्ञान' के विषयों का कार्यभार संभालने के लिए आमंत्रित किया तो अपने वैज्ञानिक मित्रों की अतिव्यस्तता के कारण यह उत्तरदायित्व स्वीकार करने में मुझे संकोच था।

इस दिशा में मेरा प्रयास रहा है कि विज्ञान के विभिन्न विषयों के जाने-माने विद्वानों को इस सराहनीय कार्य के लिए आकर्षित कर सकूँ क्योंकि खोज और अनुसंधान की आनंदपूर्ण अनुभूतियों वाले वैज्ञानिक ही अपने 'आनंद' की एक झलक बच्चों तक पहुँचा सकते हैं। मैं उनका हृदय से आभारी हूँ कि उन्होंने अंकुरित होने वाली पीढ़ी के लिए अपने बहुमूल्य समय में से कुछ क्षण निकालने का प्रयास किया। कहते तो हम सब हैं कि बालक राष्ट्र की सब से बहुमूल्य और महत्त्वपूर्ण निधि है परंतु मेरे लिए यह किंचित आश्चर्य और अधिक संतोष का अनुभव रहा है कि हमारे इतने लब्धप्रतिष्ठ और अत्यंत व्यस्त वैज्ञानिक बच्चों के लिए ऐसा परिश्रम करने के लिए सहर्ष मान गए हैं। मैं सभी वैज्ञानिक मित्रों के लिए हृदय से आभारी हूँ।

इन पुस्तकों की तैयारी में हमारा मुख्य ध्येय रहा है कि विषय ऐसी शैली में प्रस्तुत किया जाए कि बच्चे स्वयं इसकी ओर आकर्षित हों, साथ ही भाषा इतनी सरल हो कि बच्चों को इनके अध्ययन द्वारा विज्ञान के गूढ़तम रहस्यों को समझने में कोई कठिनाई न हो। इन पुस्तकों के पढ़ने से

उनमें अधिक पढ़ने की रुचि पैदा हो, उनके नैसर्गिक कौतूहल में वृद्धि हो जिससे ऐसे कौतूहल और उसके समाधान के लिए स्वप्रयत्न उनके जीवन का एक अंग बन जाये

यह योजना एन.सी.ई.आर.टी. के वर्तमान निदेशक डा. पी.एल. मल्होत्रा की प्रेरणा से प्रारंभ हुई है। मैं उन्हें इसके लिए बधाई और धन्यवाद देता हूँ। श्री मणीन्द्र चन्द्र उत्तम ने इस पुस्तक के लिखने के लिए मेरा अनुरोध स्वीकार किया जिसके लिए मैं हृदय से आभारी हूँ। परिषद् के विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग के प्रो रामदुलार शुक्ल विज्ञान की पुस्तकों के लेखन से संबंधित योजना के संयोजक हैं और बहुत परिश्रम और कुशलता से अपना कार्य कर रहे हैं। प्रो॰ अनिल विद्यालंकार "पढ़े और सीखें" संपूर्ण योजना के संचालक हैं। मैं इन दोनों को हृदय से धन्यवाद देता हूँ।

आशा है कि ऐसी पुस्तकों से हमारी नई पीढ़ी के बाल्यकाल ही में वैज्ञानिक मानसिकता का शुभारंभ हो सकेगा और विज्ञान के नवीनतम ज्ञान के साथ ही साथ उन्हें अपने देश की प्रगतियों एवं वैज्ञानिकों के कार्य की झलक मिल सकेगी जिससे उनमें अपने राष्ट्र के प्रति गौरव की भावना का भी सृजन होगा।

रामचरण मेहरोत्रा
अध्यक्ष
पढ़ें और सीखें योजना
(विज्ञान)

आभार प्रदर्शन

श्री एम.आर. कुरूप, निदेशक, शार केन्द्र के हम आभारी हैं, जिन्होंने अपने बहुमूल्य सुझाव देकर लेखक को प्रोत्साहित किया तथा इसे लिखने एवं प्रकाशित करने की अनुमति प्रदान की।

डा. एस.पी. कोस्टा, उप-निदेशक, इसरो उपग्रह केन्द्र, बंगलौर के भी हम आभारी हैं, जिनके अनुरोध व सुझाव पर लेखक ने यह कदम उठाया।

लेखक परिचय

मणीश चन्द्र उत्तम

10 जून 1943 को मझिलेगाँव, फतेहपुर में जन्म। 1964 में इंडियन इंस्टीट्यूट आफ टेक्नालॉजी, मद्रास से केमिकल इंजीनियरिंग में डिग्री। 1964–65 में भाभा एटामिक रिसर्च सेन्टर, बंबई के ट्रेनिंग स्कूल व 1967–68 में पेरिस के **एकोल नेशनल सुपीरियन** के पद में उच्चतर शैक्षिक प्रशिक्षण। परमाणु ऊर्जा विभाग और तत्पश्चात् अंतरिक्ष विभाग में कार्यरत। सम्प्रति श्रीहरिकोटा (Shar Centre) में सालिड प्रोपेलेण्ट स्पेस बूस्टर प्लांट के महाप्रबंधक। अंतरिक्ष विज्ञान से संबंधित विषयों पर हिन्दी माध्यम में लेख प्रकाशित। भारत सरकार द्वारा प्रकाशित अंतरिक्ष विज्ञान शब्दावली के निर्माण में विशेषज्ञ समिति के सदस्य।

विषय-क्रम

1

विषय प्रवेश

भारत के पूर्वीतट में **श्रीहरिकोटा** नाम का एक छोटा सा द्वीप है। यह मद्रास शहर के उत्तर में लगभग 90 किलोमीटर दूर आन्ध्र-प्रदेश के नेल्लोर ज़िले में स्थित है। इस द्वीप के पूर्वीतट को बंगाल की खाड़ी व पश्चिमी तट को ऐतिहासिक बकिंघम नहर एवं पुलिकट झील घेरे हुए हैं। इस द्वीप में यूक्लिपटस और केजुरिना के ऊँचे-ऊँचे वृक्ष हैं। इनके अतिरिक्त काजू, आम तथा नारियल के बागान भी पाए जाते हैं।

18 जुलाई 1980 की वह सुबह बड़ी ही रोमांचकारी थी, जब भारत का **प्रथम अंतरिक्ष राकेट** बड़ी ज़ोर की गर्जना करते हुए, आग की विशाल लपटों को पीछे छोड़ते हुए, पृथ्वी से दूर आकाश की ओर तेज़ी से भागा जा रहा था। उसकी गर्जना सुनकर मीलों दूर स्थित घरों से लोग बाहर निकल-निकल कर आकाश की ओर विस्मय से देखने लगे। वे सभी टकटकी लगाए ऊपर जाते हुए राकेट को देखने में मग्न थे तभी 10 वर्षीय **परितोष** ने अपने प्रश्नों की झड़ी लगा दी। यह क्या है? आकाश में आग क्यों लग गई है? बादल क्यों गरज रहे हैं? आदि-आदि। मगर किसको फुरसत थी कि वह उसके कौतूहल भरे प्रश्नों का समाधान करे। आखिर उसने अपनी 14 वर्षीय बहन **श्वेता** को खींच कर राकेट के गायब होते हुए धुएँ को दिखाने में सफलता प्राप्त की। यह क्या है? और कैसे ऊपर जा रहा है? जैसे प्रश्नों से उसका ध्यान अपनी ओर खींच ही लिया। श्वेता श्रीहरिकोटा के अंतरिक्ष केन्द्रीय विद्यालय में दसवीं कक्षा की एक प्रतिभाशाली छात्रा है। अपने पिता और उनके सह-अधिकारी मित्रों से उसने राकेट के विषय में बहुत कुछ जानकारी पहले से प्राप्त कर ली थी।

किन्तु उसके सामने इस समय यह एक बड़ी समस्या थी कि वह किस प्रकार सरल शब्दों में अपने जिज्ञासु भाई को राकेट के विषय में समझा सके।

सोच-समझ कर उसने बताया कि यह यंत्र जो अभी-अभी ऊपर गया है, राकेट कहलाता है। यह बड़ी तेज़ी से उड़ता है। इसे उड़ने के लिए बहुत अधिक बल की आवश्यकता पड़ती है। राकेट को यह बल अपने अन्दर भरे हुए ईंधन से प्राप्त होता है। इसी ईंधन को **राकेट नोदक** (Propellant) भी कहते हैं। जिस प्रकार कार व हवाई जहाज़ को ईंधन की आवश्यकता होती है उसी प्रकार राकेट को भी ईंधन की ज़रूरत पड़ती है। कार व हवाई जहाज़ के ईंधन को जलने के लिए वायु से आक्सीजन मिलती है अतः इन्हें अपने साथ आक्सीजन लेकर नहीं चलना पड़ता है। किन्तु राकेट के ईंधन में आक्सीजन भी मिली रहती है। इस कारण एक राकेट वायुमण्डल अथवा अंतरिक्ष कहीं भी उड़ान भरने में समर्थ है। हवाई जहाज़ और राकेट में यह एक मुख्य अंतर है।

राकेट का नोदक यदि ठोस अवस्था में हुआ तो इसे **ठोस राकेट नोदक** और यदि द्रव अवस्था में है तो **द्रव राकेट नोदक** कहते हैं। इसी प्रकार जहाँ नोदक गैस की अवस्था में है उसे **गैस राकेट नोदक** कहते हैं। इन तीन के अतिरिक्त नोदक एक ही राकेट में दो अवस्थाओं में भी हो सकता है। उदाहरण के लिए यदि नोदक का आक्सीकारक भाग ठोस और जलने वाला ईंधन द्रव की अवस्था में हो तो ऐसे नोदक को **संकर राकेट नोदक** कहा जाता है। राकेट के लिए **राकेट मोटर** अथवा केवल **मोटर** शब्द का भी प्रयोग किया जाता है।

आज हम सभी राकेट व इसके उड़ान सम्बन्धी समाचार बड़े मनोयोग से सुनते हैं। राकेट चाहे रूस, अमरीका, फ्रांस या भारत इत्यादि किसी भी देश का हो विश्व की युवा पीढ़ी इसकी सफलता के समाचार सुनकर उत्साह से भर जाती है। पिछले दो दशकों में भारत में भी राकेट विज्ञान का अभूतपूर्व विकास हुआ है। अपना देश आज विश्व के उन गिने-चुने देशों में से एक है जिन्होंने अपने निजी प्रयासों के फलस्वरूप अंतरिक्ष में उपग्रह पहुँचान में सफलता प्राप्त की है। इसी कारण आज हमारे विद्यार्थी वर्ग में राकेट के वैज्ञानिक तथ्यों के संबंध में विशेष जिज्ञासा जागृत हो गई है। राकेट के प्रारम्भिक नियमों की विवेचना यहाँ पर इसी दृष्टिकोण से की गई है।

राकेट मोटर में नोदक के अतिरिक्त **राकेट केस, तुण्ड, प्रज्वालक तंत्र** इत्यादि अन्य प्रमुख

अंग हैं। राकेट केस एक सिलन्डर के आकार का बना होता है। इसी के अन्दर नोदक को भरा जाता है। यदि नोदक ठोस अवस्था में हो तो भरे गए नोदक को **नोदक ग्रेन** भी कहा जाता है। तुण्ड-राकेट केस के पिछले सिरे से जुड़ा रहता है। नोदक के ज्वलन से जो गर्म गैस उत्पन्न होती है इसी तुण्ड द्वारा तीव्र गति से राकेट केस से बाहर निकलती है। अर्थात् एक राकेट में यह गैस के निकलने के द्वार का काम करता है। राकेट में भरे गए नोदक ग्रेन की ज्वलन क्रिया को प्रारम्भ करने के लिए एक विद्युत चालित यंत्र का उपयोग किया जाता है। इसे ही प्रज्वालन तंत्र कहते हैं। यह राकेट के प्रायः शीर्ष भाग में संलग्न रहता है।

राकेट को उड़ान में प्रयोग करने के पहले इसका योग्यता जाँच में सफल होना आवश्यक है। योग्यता जाँच के लिए राकेट को भूस्थित जाँच-बेंच के ऊपर रखकर प्रज्वलित किया जाता है। ज्वलन के दौरान राकेट में उत्पन्न बल को नापा जाता है। इससे इसके ऊपर उड़ने की क्षमता का ज्ञान होता है।

आधुनिक राकेट की नाप बहुत बढ़ गई है। एक-एक राकेट के अन्दर कई सौ टन तक नोदक भरा जा सकता है। ठोस नोदक के अतिरिक्त द्रव नोदक का भी सामान्य रूप से उपयोग होने लगा है। द्रव राकेट नोदक कई बातों में ठोस राकेट नोदक से श्रेष्ठ समझा जाता है। उदाहरण के तौर पर द्रव नोदक का नियंत्रण करना अपेक्षाकृत सरल है क्योंकि इसे आवश्यकतानुसार चालू और बन्द किया जा सकता है। ठोस नोदक को एक बार प्रज्वलित करने के बाद इसे पुनः बन्द व चालू करना संभव नहीं है। इसके अतिरिक्त द्रव नोदक की ऊर्जा उत्पन्न करने की क्षमता अधिक होती है। द्रव नोदक का राकेट इंजन ठोस नोदक राकेट इंजन की तुलना में अधिक जटिल भी होता है।

इंगलैंड, अमरीका, रूस, फ्रांस, चीन व जापान जैसे कुछ ही देश हैं जिन्होंने ठोस व द्रव नोदक दोनों में ही यथेष्ट उन्नति की है। इन देशों ने बड़े-बड़े राकेटों के बनाने में भी अभूतपूर्व सफलता प्राप्त की है। भारत में इस दिशा में कार्य आज से लगभग दो दशक पूर्व ही प्रारम्भ हुआ है। किन्तु इस अल्प समय में ही उन्नति के कदम बहुत आगे बढ़ गए हैं। आज भारत भी इन्हीं गिने-चुने देशों में एक माना जाता है। इसका कारण है कि भारत ने अपने **प्रथम अन्तरिक्ष यान एस-एल वी–3 राकेट** के द्वारा रोहिणी नामक उपग्रह को अंतरिक्ष में स्थापित करने में सफलता प्राप्त कर ली है। □□

2
राकेट का इतिहास

राकेट की तकनीकी बातों को समझने के पहले क्या तुम इसकी ऐतिहासिक कहानी जानना नहीं चाहोगे ? तो आओ, अब हम तुम्हें इसकी पुरानी गाथा सुनाएँ।

राकेट का इतिहास बहुत पुराना है किन्तु इसका उपयोग आतिशबाजी में आज भी हमें देखने को मिलता है। संभवतः आतिशबाजी के राकेटों का निर्माण करने वाले राकेट के प्राथमिक नियमों से अनभिज्ञ थे, किन्तु वर्षो से प्राप्त अनुभव के द्वारा इन्होंने आतिशबाजी के राकेटों में बहुत सुधार किया है। अतः इन राकेटों की सफलता में अब कोई सन्देह नहीं है। आधुनिक राकेट का प्रभावपूर्ण विकास पिछले कुछ ही दशकों में.हुआ है यद्यपि इसका उपयोग आतिशबाजी में और युद्ध में अस्त्र-शस्त्र के रूप में आज से कई शताब्दी पूर्व ही प्रारम्भ हो चुका था। इतिहास के पन्नों में राकेट से संबंधित बहुत कुछ लिखी हुई सामग्री भी प्राप्त होती है। सर्वप्रथम हमें चीन के प्रमाण पत्रों में, बारहवीं शताब्दी में अग्नि-शस्त्र के उपयोग का वर्णन मिलता है। इनमें से एक को **आग का उड़ता हुआ बाण** (Arrow of Flying Fire) कहा गया है। संभवतः यह आज के आतिशबाजी राकेट जैसा बाण से संलग्न एक नली का बना था जिसके अन्दर कोयला, गंधक और शोरे का मिश्रण भरा था। बाण, जिसे चित्र 1 में देखा जा सकता है, राकेट की उड़ान में संतुलन लाता है। चीन से राकेट का ज्ञान यूरोपीय देशों में पहुँचा, जहाँ पर इसका उपयोग युद्ध में सीमित मात्रा में किया गया।

उस समय से लेकर लगभग अठारहवीं शताब्दी तक राकेट विज्ञान की उन्नति ना के बराबर

रही। किन्तु उन्नीसवीं शताब्दी के प्रारम्भिक वर्षों में इस दिशा में एक नया अध्याय शुरू होता है। प्रमुख रूप से इसका उल्लेख भारत के इतिहास में मिलता है। मैसूर के **हैदरअली** और **टीपू सुल्तान** द्वारा राकेट के विकास और निर्माण कार्य में महत्त्वपूर्ण परिवर्तन किए गए। इनके समय के बनाए गए राकेटों को युद्ध में प्रथम बार प्रभावकारी अस्त्र के रूप में प्रयोग किया गया। **श्रीरंगपटम** के युद्ध में इनकी सफलता के सामने अंग्रेज़ी सेना के कदम उखड़ गए थे। ये राकेट लोहे की नली के बने थे। इनका व्यास 38 मिलीमीटर (मिमी) और लम्बाई लगभग 200 मिमी थी। इनके अन्दर बारूद (गन पाउडर) भरा था। नली को एक लम्बे बाँस की छड़ी के साथ बाँध दिया जाता था। जब इनके निचले सिरे में आग लगा दी जाती तो ये हवा में आग उगलते हुए शत्रु की सेना के बीच जा गिरते। इनकी अद्भुत सफलता की कहानी सुनकर इंगलैंड के **विलियम कानग्रेव** (William Congreve) बहुत प्रभावित हुए। इन्होंने इस दिशा में वैज्ञानिक ढंग से विकास करने की योजना बनाई। इस कार्य में वे जीवन-पर्यन्त संलग्न रहे।

उड़ान की सफलता के लिए यह आवश्यक है कि राकेट अपने मार्ग पर सीधा चले और अपने पथ से विचलित न हो। इसके लिए उड़ान के समय राकेट का संतुलन बना रहना बहुत आवश्यक है। कानग्रेव के बहुमूल्य अन्वेषणों में से एक महत्त्वपूर्ण ख़ोज यह भी थी कि उड़ान के समय राकेट संतुलन बनाए रखने के लिए इसे इसके अक्ष के चारो ओर घुमाना चाहिए। अर्थात उड़ते समय राकेट अपने अक्ष के चारों ओर तेज़ी से लट्टू की भाँति नाचता रहे। राकेट को ऐसी अवस्था में प्रचक्रण (Spinning) करते हुए कहा जाता है। आज के राकेट विशेषज्ञ इसी तथ्य को अपनाते

चित्र 1—आग का उड़ता हुआ बाण

हुए अंतरिक्ष में उपग्रह को संतुलन प्रदान कर इसे नियंत्रण में रखते हैं। **विलियम हल** (William Hale) ने इसी ढंग से अपने राकेटों को नियंत्रित किया और अप्रत्याशित सफलता प्राप्त की। हेल के डिज़ाइन किए गए राकेटों का पेटेंट अमरीका ने खरीदा। इन राकेटों का वहाँ के 1846–48 के गृह युद्ध में कुछ सीमा तक उपयोग किया गया।

उन्नीसवीं शताब्दी में राकेट का विकास शांतिमय उपयोगों की ओर भी अग्रसर हुआ। कभी-कभी जहाज़ किनारे आने के समय तट की चट्टानों से टकराकर फंस जाते थे। जहाज़ के डूबते हुए लोगों को बचाने के लिए राकेट का प्रभावकारी उपयोग किया गया। इसके सहारे तट पर से रस्सी, डूबते हुए जहाज़ के पास, पहुँचाकर सैकड़ों नाविकों की जीवन-रक्षा की जा सकी। दूसरा उपयोग पाया गया समुद्र की बड़ी-बड़ी मछलियों का शिकार करने में।

इस बीच यूरोप व अमरीका में राकेट संबंधी विकास कार्य धीरे-धीरे चलता रहा। अब इसे वैज्ञानिक ढँग से डिज़ाइन करने पर अधिक बल दिया जाने लगा। 1881 में रूस के **निकोलय इवानोविच** (Nikolay Ivanovich) ने राकेट विज्ञान के ऊपर अनेक महत्त्वपूर्ण लेख लिखे। इवानोविच विस्फोटक विशेषज्ञ थे। रूस के ज़ार ने इन्हें इस समय जेल में बन्द कर रखा था। इनके लेख रूसी भाषा में होने के कारण, इन महत्वपूर्ण लेखों को विश्व के अन्य वैज्ञानिकों तक नहीं पहुँचाया जा सका।

प्रथम विश्वयुद्ध के दौरान, अमरीकी राकेट वैज्ञानिक **गोडार्ड** (Goddard) ने आधुनिक राकेट की वास्तविक नींव डाली। इन्होंने ही राकेट की अपार क्षमता और इसके महत्त्वपूर्ण भविष्य को सही ढँग से पहचाना। गोडार्ड को **आधुनिक राकेट का पिता** कहना गलत नहीं होगा। युद्ध में उपयोग किए जाने वाले राकेटों की अपेक्षा इनकी कल्पनाएँ ऐसे राकेटों पर थीं जो पृथ्वी के **गुरुत्वाकर्षण** बल को तोड़कर बाहर अंतरिक्ष में निकल सकें। ये राकेट चन्द्रमा के कक्ष में पहुँचकर उसके मुखपृष्ठ की फोटो खींचकर नीचे पृथ्वी में भेजने की क्षमता वाले थे। गणित व विज्ञान की सहायता से इन्होंने यह स्थापित किया कि ऐसे कार्यों के लिए द्रव नोदक राकेट ही अधिक उपयुक्त रहेंगे। गोडार्ड एक महान वैज्ञानिक थे किन्तु वे अपने अन्वेषणों को बाहर की दुनियाँ से बहुत कम परिचित कराते थे।

1923 में जर्मन प्राध्यापक **हरमैन ओबर्ड** (Hermann Oberth) ने अंतरिक्ष यात्रा के योग्य यान की अभिकल्पना की और इसे The Rocket into Interplanetary Space नामक पुस्तक में प्रकाशित किया। इस पुस्तक में पहली बार अंतरिक्ष से संबंधित वैज्ञानिक तथ्य पाए जाते हैं। इसके अगले दशक में विश्व के अनेक देशों में राकेट संबंधी बहुत से लेख प्रकाशित हुए।

द्वितीय विश्वयुद्ध के दौरान जर्मनी ने V-2 नाम के द्रव नोदक राकेट का अविष्कार किया। प्रथम V-2 राकेट पेरिस शहर के ऊपर 6 सितम्बर 1944 को छोड़ा गया था। इसके दो दिन बाद इनकी शुरुआत लंदन पर हुई जहाँ अगले कुछ महीनों में इनकी संख्या 1,000 से भी ऊपर हो गई। यद्यपि इन राकेटों ने जर्मनी को जीत नहीं दिलाई, परन्तु इनकी तकनीकी विश्व में भावी राकेटों का आधार बनी। इस प्रसिद्ध राकेट की ऊर्जा इसके द्रव नोदक से प्राप्त होती थी। द्रव आक्सीजन आक्सीकारक के रूप में और एथाइल एल्कोहल व पानी का मिश्रण द्रव ईंधन के रूप में राकेट के नोदक का कार्य करते थे। यह राकेट लगभग 14 मीटर लम्बा और 1.5 मीटर व्यास का था। नोदक सहित इसका कुल भार 14 टन था और यह 1 टन भार का विस्फोटक पदार्थ लेकर उड़ता था।

द्वितीय विश्व युद्ध की समाप्ति होते-होते विश्व के अन्य देशों में भी युद्ध से संबंधित राकेटों की महत्ता पर विश्वास जम चुका था और अब लगभग सभी देशों में, विशेषकर अमरीका, रूस, फ्रांस व इंगलैंड में इस प्रकार के राकेटों का विकास बड़ी तेज़ी से होने लगा। इनकी उत्पादन तकनीक में क्रान्ति आई। जोर-शोर से स्वचालित यंत्रों को अपनाया गया। युद्ध के राकेट बड़े पैमाने में बनाए जाने लगे। जर्मनी का V-2 बनाने का ज्ञान रूस और अमरीका पहुँचा और इसकी आधार-शिला पर अतंरिक्ष यानों का विकास कार्य प्रारम्भ हुआ।

1954-60 के बीच अमरीका ने राकेट को मिसाइल का रूप देकर राकेट विज्ञान में एक नया मोड़ ला दिया। प्रथम इण्टर कॉन्टीनेण्टल बैलिस्टिक मिसाइल, **एटलस** (Atlas), की सफल उड़ान 1958 में हुई। इसके बाद इससे बड़ी मिसाइल **टाइटन** (Titan) का प्रादुर्भाव हुआ जो दो **खण्ड राकेट** से बना था। 1959 में इसका सफल परीक्षण किया गया। इन दोनों मिसाइलों में द्रव नोदक का उपयोग किया गया था—द्रव आक्सीजन और द्रव केरोसीन का। द्रव आक्सीजन का ताप

शून्य से बहुत नीचे होने के कारण इसको स्टोरेज टैंक में रखना तथा प्रमोचन (लाँचिंग) के समय राकेट के टैंक में भरना आदि कठिन समस्याएँ उपस्थित कर देता है। राकेट के टैंक में पहले से भरकर संचय न कर सकने के कारण प्रमोचन का बहुमूल्य प्रारंभिक समय अधिक नष्ट होता है। द्रव नोदक राकेटों की यह बहुत बड़ी कमी है। विशेषकर जहाँ द्रव का ताप शून्य से नीचे अर्थात् निम्नतापीय (Cryogenic) होता है। इस कमी को दूर करने के लिए ऐसे द्रव नोदकों की ख़ोज की जाने लगी जो सामान्य ताप पर द्रव बने रहते हैं। नाइट्रोजन टेट्राक्साइड द्रव आक्सीकारक के स्थान पर और **यू.डी.एम.एच.**(Unsymmetrical Dimethyl Hydrazene–UDMH) द्रव हाइड्रोजन के स्थान पर प्रयोग किए जाने वाले नोदकों के उदाहरण हैं।

मिसाइल के लिए ठोस नोदक से चलने वाले राकेट श्रेष्ठ समझे जाते हैं क्योंकि यहाँ द्रव नोदक को राकेट–टैंक में भरने वाले बहुमूल्य समय की बचत होती है। ठोस नोदक के राकेट मोटर सदैव तैयारी की स्थिति में रखे जा सकते हैं। इन प्रयत्नों के फलस्वरूप **मिनटमैन** (Minuteman) मिसाइल का 1958 में प्रादुर्भाव हुआ। इसका प्रथम सफल परीक्षण 1961 में किया गया। इसी समय पानी के अन्दर से छोड़ी जाने वाली **पोलरिस** (Polaris) मिसाइल की भी सफलतापूर्वक परीक्षा की गई। इसका बड़ा रूप **पोसीडान**(Posidon)मिसाइल के नाम से विश्वविख्यात है। इसका प्रथम प्रमोचन 1971 में हुआ था।

इन वर्षों में लगभग इसी तेज़ी से रूस में भी राकेट व इनसे संबंधित मिसाइल का विकास हुआ। सशीन, स्क्रैग, सन्डल व सैवेज आदि प्रसिद्ध रूसी मिसाइलों के नाम हैं। ये सभी संचय योग्य द्रव नोदकों का उपयोग करते हैं।

इन्हीं विशाल राकेटों का उपयोग करते हुए रूस ने अपने प्रसिद्ध **स्पुटनिक उपग्रह** को 1957 में प्रथम बार अंतरिक्ष में भेजा। इसके बाद अमरीका व अन्य देशों ने अपने-अपने राकेटों की सहायता से बड़े-बड़े उपग्रह अंतरिक्ष की ख़ोज में भेजे। इन उपग्रहों के द्वारा अनेक वैज्ञानिक परीक्षण सम्पन्न किए गए। आज मनुष्य इन्हीं राकेटों के सहारे चाँद पर उतर सका है और अब इससे भी आगे बढ़ने के लिए अग्रसर है। अंतरिक्ष में बड़ी-बड़ी प्रयोगशालाओं के स्थापित करने का कार्य भी इन्हीं राकेटों द्वारा सम्भव हो सका है।

श्वेता देख रही थी कि परितोष राकेट की ऐतिहासिक कहानी बड़े चाव से सुन रहा है। किन्तु उसके मुख से उसे स्पष्ट प्रतीत हो रहा था कि वह उपग्रह और मिसाइल जैसे शब्दों से परिचित नहीं है। इन्हें समझाने के लिए उसने अपनी कहानी जारी रखी।

सौर मण्डल में पृथ्वी नौ ग्रहों में से एक प्रमुख ग्रह है। ये सभी ग्रह सूर्य की परिक्रमा करते हैं। उसी प्रकार उपग्रह ग्रहों की परिक्रमा करते हैं। परिक्रमा से तात्पर्य है ग्रह के चारो ओर घूमना। चन्द्रमा हमारी पृथ्वी का उपग्रह है। इस प्रकार ग्रहों की परिक्रमा करने वाले किसी भी पिंड को हम उपग्रह कहेंगे। ये पिंड मानव-निर्मित भी हो सकते हैं। इन्हीं मानव-निर्मित उपग्रहों को पृथ्वी की कक्षा में पहुँचाने के लिए हमें शक्तिशाली राकेटों की आवश्यकता पड़ती है। रूस द्वारा भेजा गया **स्पुटनिक** मानव-निर्मित प्रथम उपग्रह था।

उपग्रह पृथ्वी की कक्षा में पहुँचकर परिक्रमा करते रहते हैं। इन्हें वहाँ पहुँचाने वाले राकेट या तो भूस्थल पर लौट आते हैं अथवा वायु-घर्षण से उत्पन्न ऊष्मा के कारण जलकर भस्म हो जाते हैं। राकेट का उपयोग जब अस्त्र-शस्त्र के रूप में होता है तब इसे मिसाइल कहते हैं। ये राकेट बम जैसे शस्त्र लेकर उड़ते हैं और निश्चित स्थान पर पहुँचा कर इसका विस्फोटन कराते हैं। इन्हें पृथ्वी की कक्षा में उपग्रह की भाँति ले जाने की आवश्यकता नहीं पड़ती है। ऐसे राकेट जो एक महाद्वीप से दूसरे महाद्वीप पहुँचने की क्षमता रखते हैं, इण्टर कॉन्टीनेण्टल बैलिस्टिक मिसाइल के रूप में इस्तेमाल किए जाते हैं। इस प्रकार यह समझा जा सकता है कि राकेट व बम के जोड़े को मिसाइल कहा जाता है।

□□

3
राकेट का वर्गीकरण

राकेट की ऐतिहासिक कहानी सुनाने के बाद श्वेता ने निश्चय किया कि वह इस विषय में अपने विज्ञान के अध्यापक से अधिक जानकारी प्राप्त करेगी। अतः अगले दिन ज्योंही विज्ञान के अध्यापक ने कक्षा में प्रवेश किया, श्वेता व उसके सहपाठियों ने अध्यापक से अनुरोध किया कि वे आज पाठ्यपुस्तक के विषय को न पढ़ाकर कल छोड़े गए राकेट के विषय में बताएँ। बच्चों ने यह भी बताया कि वे राकेट के इतिहास के विषय में अन्य पुस्तकों में पढ़ चुके हैं और वे आज राकेट के तकनीकी विवरण के बारे में जानना चाहेंगे।

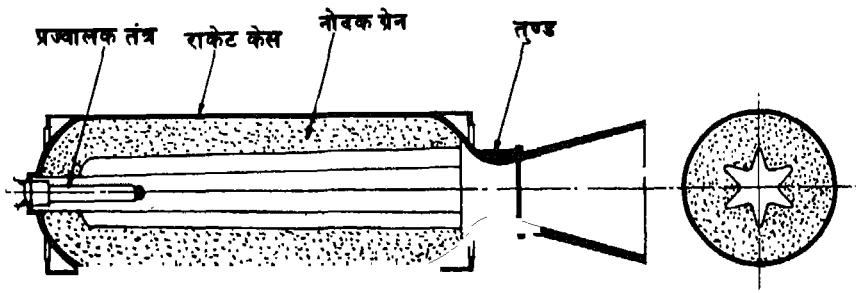
बच्चों की राकेट में रूचि देख कर अध्यापक को प्रसन्नता हुई और उन्होंने राकेट के विभिन्न वर्गों और उनके मुख्य-मुख्य अंगों के विषय में सहर्ष बताना शुरू किया।

यह तो तुम्हें मालूम ही है कि राकेट की उड़ान के लिए नोदक की आवश्यकता होती है। नोदक ग्रेन की ज्वलन क्रिया को प्रारम्भ करने के लिए एक प्रज्वालक यंत्र चाहिए। नोदक ग्रेन के जलने से उत्पन्न गर्म गैस जिस द्वार से निकलती है उसे हम तुण्ड(Nozzle) कहते हैं। यही गर्म गैस जब तुण्ड द्वारा तेज़ी से बाहर निकलती है, हमें आग की ज्वाला के रूप में दिखलाई पड़ती है।

राकेट का **ईंधन** ठोस, द्रव, गैस अथवा ठोस-द्रव की अवस्था में हो सकता है। इनकी अवस्था के अनुसार राकेट को निम्न चार वर्गों में विभाजित किया गया है।

ठोस नोदक राकेट (Solid Propellant Rocket)
द्रव नोदक राकेट (Liquid Propellant Rocket)
गैस नोदक राकेट (Gaseous Propellant Rocket)
संकर नोदक राकेट (Hybrid Propellant Rocket)

(1) ठोस नोदक राकेट

ठोस नोदक राकेट रसायन नोदन का सबसे सरल उदाहरण है। ईंधन व आक्सीकारक दोनों ही यहाँ एक ठोस नोदक में सम्मलित हैं। इस ठोस नोदक को नोदक ग्रेन (Propellant Grain) कहा जाता है। राकेट केस के दहन कक्ष में नोदक ग्रेन को स्थापित किया जाता है। चित्र 2 में एक ठोस नोदक राकेट के विभिन्न अंगों को दिखाया गया है। एक राकेट केस में नोदक ग्रेन भरने के पश्चात् यदि तुण्ड व प्रज्वालक (Igniter) भी सलंग्न हो तो इसे राकेट मोटर अथवा केवल मोटर भी कहा जाता है। इस चित्र में नोदक ग्रेन अरीय ज्वलन (Radial Burning) वर्ग का है अर्थात इसकी ज्वलन क्रिया ग्रेन के पोर्ट से प्रारम्भ होती है। यदि नोदक ग्रेन के बीच का स्थान नोदक रहित हो तो इस खाली स्थान को नोदक ग्रेन का पोर्ट कहते हैं। यहाँ यह पोर्ट **"तारा"** आकार का है। प्रज्वालक राकेट मोटर के शीर्ष भाग से जुड़ा होता है, इसे विद्युत द्वारा प्रचालित किया

चित्र 2–ठोस नोदक राकेट के विभिन्न भाग

जाता है। यह नोदक ग्रेन की ज्वलन क्रिया को प्रारम्भ करता है। राकेट के दूसरे सिरे पर तुण्ड को देखा जा सकता है।

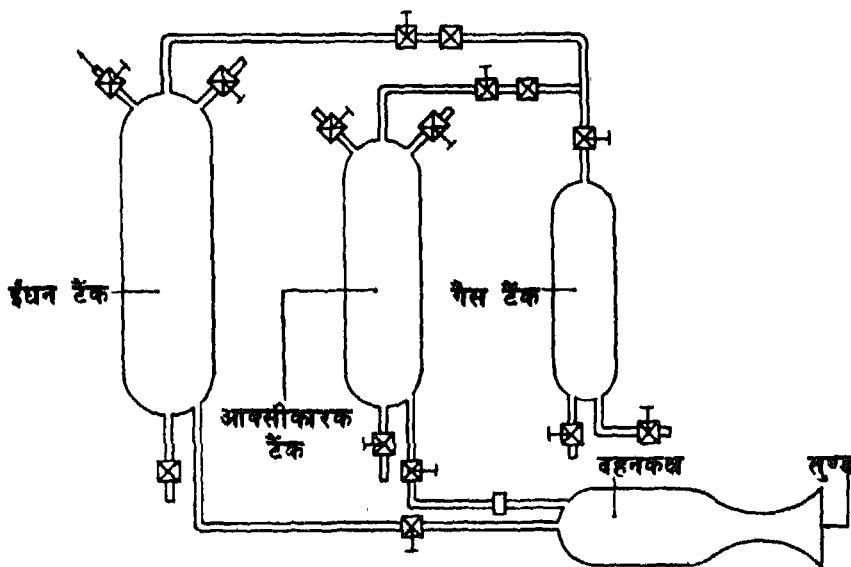
नोदक के जलने से गर्म गैस उत्पन्न होती है जो पोर्ट से होती हुई तुण्ड से बाहर निकलती है। नोदक ज्वलन में ग्रेन की सबसे ऊपरी सतह जलती है और ज्वलन गति सतह के लम्बवत दिशा में बढ़ती है। ज्वलन की अंतिम अवस्था में ही गर्म गैस राकेट केस के सम्पर्क में आ पाती है। राकेट केस नोदक ग्रेन को स्थापित करने के लिए जगह बनाता है और साथ ही दहन-गैस को तुण्ड से निकलने से पहले, रासायनिक क्रिया सम्पन्न करने का अवसर देता है।

ठोस नोदक राकेट मोटर का सबसे महत्वपूर्ण भाग है। इसका विस्तृत विवरण अगले पृष्ठों में दिया जाएगा।

(2) द्रव नोदक राकेट

ठोस नोदक राकेट की तुलना में द्रव नोदक राकेट व संकर राकेट की रचना अधिक जटिल होती है। किन्तु द्रव नोदक राकेट का ठोस नोदक राकेट की अपेक्षा नियंत्रण करना सरल है। ठोस नोदक एक बार ज्वलित होने के बाद बंद नहीं किया जा सकता है जब कि द्रव नोदक के लिए यह बहुत ही आसान है।

एक द्रव नोदक राकेट का क्रमदर्शी आरेख चित्र 3 में दिखाया गया है। इसमें दहन कक्ष से संलग्न तुण्ड को देखा जा सकता है। तुण्ड से गर्म गैस की धार बाहर निकलती है। इंजेक्टर हेड दहन कक्ष का ही एक भाग है। आक्सीकारक व ईंधन को यहाँ दो अलग-अलग टैंकों में भरा जाता है। कुछ नोदक द्रव ऐसे भी होते हैं जिनमें आक्सीकारक व ईंधन दोनों भाग उपलब्ध रहते हैं। तब एक ही टैंक का उपयोग किया जाता है। दहन कक्ष, तुण्ड आक्सीकारक व ईंधन को दहन कक्ष में भेजने की यंत्रावली आदि सभी को मिलाकर राकेट इंजन कहते हैं। राकेट पावर प्लांट में इनके अतिरिक्त आक्सीकारक व ईंधन टैंक, गैस टरबाइन आदि भी सम्मलित हैं।

द्रव आक्सीकारक व द्रव ईंधन को इनके टैंकों से एक निश्चित अनुपात में दहन कक्ष के अन्दर लाया जाता है। प्रवाह दर को पूर्ण रूप से नियंत्रित किया जाता है। इस कार्य के लिए नियंत्रण वाल्व

चित्र 3—द्रव नोदक राकेट का क्रमदर्शी आरेख

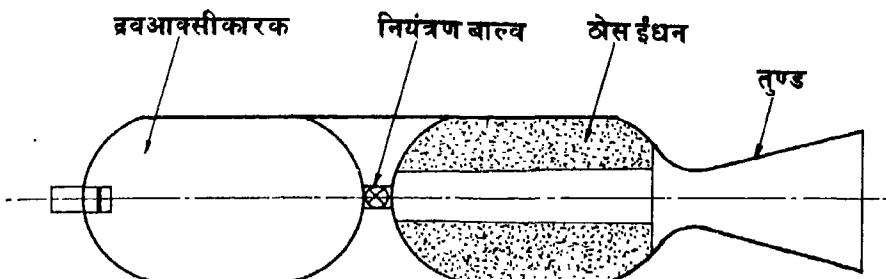
का उपयोग किया जाता है। इन द्रवों को टैंकों से निकालने का काम या तो टरबाइन द्वारा चालित पंप से अथवा एक अन्य गैस टैंक के गैस दाब द्वारा किया जाता है। गैस टरबाइन को चलाने के लिए गैस जनरेटर लगाया जाता है, जिसमें एक नोदक जलकर उचित मात्रा में गैस बनाता रहता है। दहन कक्ष व तुण्ड गर्म गैस के प्रवाह के कारण अत्यंत गर्म हो उठते हैं। इन्हें ठंडा करने के लिए द्रव आक्सीकारक व द्रव ईंधन को दहन कक्ष व तुण्ड में लगे आवरण (**जैकेट**) से प्रवाहित करते हुए कक्ष के इंजेक्टर में लाया जाता है। आक्सीकारक व ईंधन दहन कक्ष के अन्दर जब एक दूसरे के संसर्ग में आते हैं तब रासायनिक प्रतिक्रिया के द्वारा गैस बनती है और ऊष्मा के रूप में ऊर्जा उत्पन्न होती है। राकेट से बाहर निकलती गैस की ऊष्मा को गतिज ऊर्जा में बदलने में तुण्ड सहायक होता है।

जैसे कि पहले बताया गया है द्रव नोदक राकेट का बनाना ठोस नोदक राकेट की अपेक्षा कहीं अधिक जटिल है। इसका मुख्य कारण है द्रव नोदक राकेट के अंगों का निर्माण। इनमें से विशेषकर पंप, वाल्व, टरबाइन आदि को बनाने के लिए उच्च स्तर की जटिल मशीनों की आवश्यकता पड़ती है। इसके अतिरिक्त द्रव नोदक राकेट में दहन-अस्थायित्व (Combustion Instability) एक बहुत बड़ी समस्या है। इसे सुलझाने के लिए राकेट की डिज़ाइन का बहुत विस्तार में विश्लेषण करना पड़ता है।

(3) गैस नोदक राकेट

गैस नोदक राकेट में राकेट नोदक अवस्था में ही राकेट के अन्दर वर्तमान रहता है। गैस बड़े-बड़े टैंकों में ऊँचे दाब पर भर कर रखी जाती है। आवश्यकता पड़ने पर वाल्व खोलकर इसे तुण्ड से बाहर निकाला जाता है। यहाँ गैस की दाब ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदलती है। इस प्रकार के राकेट के लिए बहुत बड़े व मजबूत टैंकों की आवश्यकता होती है। अतः इनका उपयोग बड़ा सीमित है। इनका उपयोग ऐसे प्रयोजनों के लिए ही किया जाता है, जहाँ अल्प समय के लिए बहुत कम बल की आवश्यकता होती है। इन राकेटों को सफलतापूर्वक नियंत्रित किया जा सकता है। इसीलिए गैस नोदक राकेटों की विश्वसनीयता अधिक है।

(4) संकर नोदक राकेट

संकर नोदक राकेट में नोदक दो अलग-अलग अवस्थाओं में होते हैं। प्रायः ईंधन ठोस और आक्सीकारक द्रव के रूप में होता है। संकर नोदक राकेट की रचना द्रव नोदक राकेट की अपेक्षा सरल होती है क्योंकि यहाँ एक ही द्रव को नियंत्रित करना पड़ता है। चित्र 4 में एक संकर नोदक राकेट को दिखाया गया है। यहाँ द्रव आक्सीकारक का टैंक राकेट के शीर्ष सिरे पर है और

चित्र 4—संकर नोदक राकेट

ठोस ईंधन को तुण्ड के पास वाले भाग में भरा गया है। ठोस ईंधन ग्रेन के पोर्ट से होता हुआ द्रव आक्सीकारक बहता है। ईंधन व आक्सीकारक की प्रतिक्रिया स्वरूप गर्म गैस उत्पन्न होती है जो कि तुण्ड से बाहर निकलते हुए राकेट को शक्ति प्रदान करती है।

□□

4

ठोस नोदक राकेट

ठोस नोदक राकेट में नोदक ठोस अवस्था में होता है यह तो तुम जान ही चुके हो। इसके निर्माण में विभिन्न प्रकार के रसायनिकों की आवश्यकता पड़ती है। इनमें कुछ द्रव की अवस्था में होते हैं और कुछ ठोस की अवस्था में। इनका चुनाव कुछ विशेष गुणों पर आधारित होता है। ये रसायन नोदक की कच्ची सामग्री के रूप में इस्तेमाल किए जाते हैं। इनके विषय में और इनसे नोदक ग्रेन के बनाने की विधि के विषय में अब हम तुम्हें बताएंगे। ठोस नोदक राकेट में नोदक ग्रेन के अतिरिक्त तुण्ड व प्रज्वालक तंत्र महत्वपूर्ण अंग हैं। द्रव नोदक राकेट में भी तुण्ड व प्रज्वालक तंत्र की आवश्यकता पड़ती है। किन्तु इनका निर्माण अपेक्षाकृत सरल होता है। कभी-कभी द्रव नोदकों का चुनाव इस प्रकार होता है कि उन्हें अलग से प्रज्वालक तंत्र की आवश्यकता नहीं पड़ती है। बल्कि द्रव नोदक के आक्सीकारक व ईंधन सम्पर्क में आते ही ज्वलित हो जाते हैं। एक बात और ध्यान में रखने की है कि ठोस नोदक का प्रज्वालक तंत्र केवल एक बार ही कार्य करता है किन्तु द्रव नोदक के लिए इसे बार-बार कार्यान्वित किया जा सकता है।

प्रारम्भिक काल में राकेटों में ठोस नोदक का ही उपयोग किया जाता था। प्रायः यह नोदक कार्बन, गंधक व शोरे के मिश्रण से बनाया जाता था। किन्तु इन राकेटों का साइज़ बहुत छोटा होता था और नोदक की मात्रा भी बहुत कम होती थी। उदाहरण के तौर पर चीन के **उड़ते हुए आग के बाण** में नोदक की मात्रा कुछ ग्राम ही होती थी। आज के राकेट का साइज बहुत बढ़ गया है। कुछ राकेटों में नोदक ग्रेन का भार 100 टन से भी अधिक होता है। इतने बड़े नोदक ग्रेन बनाने की कला

पिछले दो-तीन दशकों में ही विकसित हुई है। इन्हें बनाने के लिए नए-नए बंधक-रालों की खोज की गई जो आक्सीकारक व धातु ईंधन के ठोस कणों को बाँधकर एक मज़बूत ग्रेन का रूप दे सकें। आक्सीकारक के रूप में अनेक रसायनों का परीक्षण और उनके गुणों में सुधार किया गया। ग्रेन बनाने के ढंग में भी प्रभावशाली सुधार लाए गए।

जैसा कि पहले बताया गया है ठोस नोदक मोटर के चार मुख्य निम्न अंग हैं। इन्हीं चार के संलग्न होने पर ठोस नोदक राकेट बनता है। इनका विवरण इस प्रकार है:

राकेट केस
नोदक ग्रेन
तुण्ड
प्रज्वालक

(1) राकेट केस

ठोस नोदक राकेट में राकेट केस दहन कक्ष का काम करता है और साथ ही नोदक ग्रेन के लिए जगह बनाता है। यह केस इस्पात अथवा अन्य मजबूत किन्तु हल्की धातु जैसे एल्यूमीनियम, टाइटेनियम आदि से बनाया जाता है। आधुनिक राकेटों के केस फाईबर प्रबलित प्लास्टिक (Fibre Reinforced Plastic-FRP) से भी बनाए जाते हैं। राकेट केस के बनाने की सामग्री के चुनाव में निम्न तीन बातों का विशेष रूप से ध्यान रखा जाता है।

(1) केस के ऊपर आने वाला यांत्रिक भार

नोदक ग्रेन के ज्वलन से उत्पन्न गर्म गैस का दहन कक्ष में दाब पड़ता है। इस दाब को सहने के लिए राकेट केस को उपयुक्त होना चाहिए। यह गैस दाब जिसे ज्वलन दाब भी कहते हैं नोदक ग्रेन की डिजाइन पर निर्भर करता है और इसका मान 100 बार तक हो सकता है।

(2) ऊष्मा भार

राकेट केस के कुछ भाग गर्म गैस के सम्पर्क में भी आते हैं। राकेट केस की सुरक्षा के लिए ऊष्मा

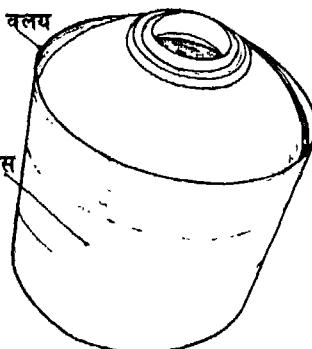
रोधन का प्रयोग किया जाता है। रोधन की सहायता से राकेट केस इस ऊष्मा को सहने में सक्षम हो जाता है।

(3) नियंत्रण-यंत्रों का राकेट केस के साथ समाकलन

राकेट मोटर को उड़ान की स्थिति में नियंत्रण में रखा जाता है ताकि यह अपनी निर्दिष्ट दिशा में ही जाए। इन नियंत्रण यंत्रों को राकेट केस के साथ संलग्न किया जाता है। राकेट केस की रचना ऐसी हो कि यह समाकलन आसानी से किया जा सके।

आज के अधिकतर ठोस नोदक मोटर के राकेट केस इस्पात के बने होते हैं। इनमें 15 सीडीवी 6 और मैरेजिंग स्टील प्रमुख हैं। इन विशिष्ट इस्पात धातुओं के विशेष गुण हैं इनका ऊँचा प्रत्यास्थता गुणांक (Modulus of Elasticity) और पराभव सामर्थ्य (Yield Strength) इसके अलावा धातु के बने राकेट केस में उड़ान के दौरान कंपन द्वारा उत्पन्न समस्या को आसानी से सुलझाया जा सकता है।

धातु के बने केस की अपेक्षा फाइबर प्रबलित प्लास्टिक अर्थात् FRP केस अत्यंत हल्के होते हैं। चूंकि राकेट के डिजाइन में यह एक आवश्यक नियम है कि नोदक के अतिरिक्त अन्य अंगों का भार कम से कम रहे, FRP बने केस अंतरिक्ष यान के ऊपरी राकेटों में अधिक पसन्द किये जाते हैं। इससे राकेट की क्षमता में महत्वपूर्ण वृद्धि होती है। इन्हें बचाने के लिए काँच या केवलार के बने तन्तुओं का उपयोग किया जाता है। राकेट के केस की आन्तरिक नाप का पहले एक मैन्ड्रूल बनाया जाता है। इसके ऊपर इन तन्तुओं को राल से भिगोते हुए चढ़ाया जाता है। इन्हें विभिन्न दिशाओं में घुमाते हुए मैन्ड्रूल को पूर्णतया ढक दिया जाता है। एक मीटर व्यास व दो मीटर

चित्र 5- FRP से बना राकेट केस

लम्बे राकेट केस को बनाने में लगभग दस लाख किलोमीटर लम्बाई के तन्तु लग जाते हैं। इन्हें लपेटने के बाद पका लिया जाता है। ठंडा करने के पश्चात् मैन्ड्रल को अलग कर दिया जाता है। इस प्रकार FRP का राकेट केस बनकर तैयार हो जाता है। चित्र 5 में इस प्रकार के केस को देखा जा सकता है। केस के दो सिरों पर तुण्ड व प्रज्वलन तंत्र जोड़ने के लिए धातु की दो वलय (Rings) लगी रहती हैं।

राकेट केस बहुत पतली दीवार के बनाये जाते हैं ताकि इनका भार कम से कम रहे। नोदक ग्रेन के अधिकतम ज्वलन दाब को ध्यान में रखते हुए राकेट केस की डिजाइन की जाती है। ये केस आन्तरिक दाब सहने में समर्थ होते हैं किन्तु बाहरी दाब पड़ने पर असफल हो जाते हैं। उठाने व रखने में किसी भी मामूली आघात से उन्हें भारी क्षति पहुंच सकती है। अतः इन्हें इस्पात के बने हारनेस (Harness) से प्रसज्जित कर लिया जाता है जो एक रक्षक की भाँति केस को सुरक्षित रखता है। इसी प्रसज्जा के सहारे राकेट केस को फोर्कलिफ्ट, क्रेन आदि द्वारा उठाते हैं। राकटे केस का प्रसज्जीकरण नोदक संसाधन की अंतिम अवस्था तक विद्यमान रहता है। तत्पश्चात् इस प्रसज्जा को राकेट केस से अलग कर दिया जाता है।

(2) नोदक ग्रेन

राकेट केस के अंदर जो नोदक घोल भरा जाता है वही पककर ठोस नोदक ग्रेन बन जाता है। नोदक कई पदार्थों को अच्छी तरह मिलाकर बनाया जाता है। इसकी ज्वलन क्रिया के लिए आक्सीजन, कार्बन, हाइड्रोजन आदि तत्वों का होना आवश्यक है। बन्धक राल (Binder Resin) और आक्सीकारक इन तत्वों की पूर्ति करते हैं। बंधक राल एक द्रव के रूप में होता है। कार्बन, हाइड्रोजन आदि की पूर्ति के अतिरिक्त बंधक राल का एक अन्य उद्देश्य है नोदक के ठोस कणों को बाँधकर रखना। बंधक राल प्रपिण्डक (Curator) से रासायनिक प्रतिक्रिया करके एक ठोस लचकदार प्लास्टिक में बदल जाता है और इसमें ठोस कण बंधकर रह जाते हैं। बंधक राल के उदाहरण है–पालीब्यूटाडाइन, पालीयूरीथेन, पालीविनायल–क्लोराइड आदि।

नोदक का सूत्रीकरण निश्चित करते समय यह ध्यान रखा जाता है कि सभी रसायनों की सही

मात्रा ली जाए जिससे कि प्रतिक्रिया में न तो किसी तत्व की कमी हो और न अधिकता। इसके लिए होने वाली रासायनिक क्रियाओं का पहले ठीक-ठाक अध्ययन किया जाता है और संपूर्ण प्रतिक्रिया के लिए सभी रसायनों की मात्रा निश्चित की जाती है। इसी सूत्र के अनुसार नोदक घोल बनाया जाता है। इस दौरान मूलसूत्र में कुछ परिवर्तन भी किए जा सकते हैं। ये परिवर्तन घोल की तैयारी, ग्रेन की ढलाई आदि में उत्पन्न समस्याओं को सुलझाने के लिए किए जाते हैं। ईंधन व आक्सीकारक के अतिरिक्त अन्य पदार्थों को भी कभी-कभी मिलाया जाता है। एक आधुनिक राकेट के ठोस नोदक का सामान्य सूत्रीकरण सारणी 1 में दिया गया है।

बंधक-राल एक गाढ़े द्रव के रूप में होता है। आज के राकेटों में पाली ब्यूटाडाइन एक्रिलिक एसिड एक्रिलोनाइट्राइल (Poly Butadine Acrylic Acid Acrylonitrile-PBAN) और हाइड्रोक्सी टर्मिनेटेड पाली ब्यूटाडाइन (Hydroxy Terminated Poly Butadine-HTPB) का विशेषकर उपयोग होता है।

सारणी 1

सामान्य नोदक का सूत्रीकरण

क्रमांक	रसायन	मात्रा (%)
1	बंधक राल	11-13
2	आक्सीकारक	60-75
3	धातुईंधन	15-18
4	प्लास्टिककारी	1-2
5	प्रपिण्डन	1-2
6	अन्य (ज्वलन गति परिवर्तक, प्रक्रमण सहायक आदि)	0.5-1

आक्सीकारक के रूप में अमोनियम परक्लोरेट का उपयोग आज के लगभग सभी ठोस राकेटों में हो रहा है। इसके अतिरिक्त अमोनियम नाइट्रेट, सोडियम नाइट्रेट, पोटेशियम नाइट्रेट सोडियम परक्लोरेट, पोटेशियम परक्लोरेट और नाइट्रोनियम परक्लोरेट भी ठोस नोदक के आक्सीकारक के रूप में इस्तेमाल किए जा सकते हैं। लिथियम परक्लोरेट एक बहुत शक्तिशाली आक्सीकारक है। यदि इसका ठोस नोदक बनाने में उपयोग किया जा सके तो नोदक की ऊर्जा में बहुत अधिक वृद्धि हो सकती है। किन्तु यह बहुत आर्द्रताग्राही (Hygroscopic) होने के कारण वायु की नमी खींच लेता है। अतः इसका उपयोग बहुत कम किया जाता है। आक्सीकारक के चुनाव में निम्न तीन बातों पर ध्यान देना नितांत आवश्यक है।

उपलब्ध आक्सीजन की मात्रा

संभवन ऊष्मा

घनत्व

उपलब्ध आक्सीजन की उच्चतम मात्रा, संभवन ऊष्मा का निम्नतम मान और ऊँचा घनत्व, ये तीन गुण एक अच्छे आक्सीकारक के प्रतीक हैं। सारणी 2 में विभिन्न आक्सीकारकों का विवरण दिया गया है। धातु ईंधन के लिए एल्यूमीनियम पाउडर का उपयोग किया जाता है। इसके कणों की औसत माप 10–20 माइक्रोन होती है। इसके मिलाने से दहन ताप में वृद्धि होती है इसलिए नोदक की ऊर्जा में वृद्धि होती है। एल्यूमीनियम के अतिरिक्त मैगनीशियम, बोरान व बिरीलियम का भी नोदक में धातु ईंधन के लिए प्रयोग किया जा सकता है। मैगनीशियम, एल्यूमीनियम की अपेक्षा कम ऊर्जा देता है। बोरान पूर्णरूप से रासायनिक प्रतिक्रिया में भाग नहीं ले पाता और बाहर निकलने वाली गैस में इसका कुछ भाग ऐसे ही व्यर्थ चला जाता है। इस कारण इसकी क्षमता का पूर्ण उपयोग नहीं हो पाता है। बिरीलियम द्वारा ऊर्जा में सबसे अधिक वृद्धि होती है किन्तु बाहर निकलने वाली गैस इसके कारण बहुत विषैली हो जाती है। अतः इस प्रकार के नोदक का स्थैतिक परीक्षण, भूस्थित परीक्षण केन्द्रों में करना संभव नहीं है। ऐसे नोदक का उपयोग भी केवल ऊपरी खण्ड वाले राकेट में ही किया जाता है।

सारणी 2

ठोस नोदक के उपयुक्त आक्सीकारकों के प्रमुख गुण

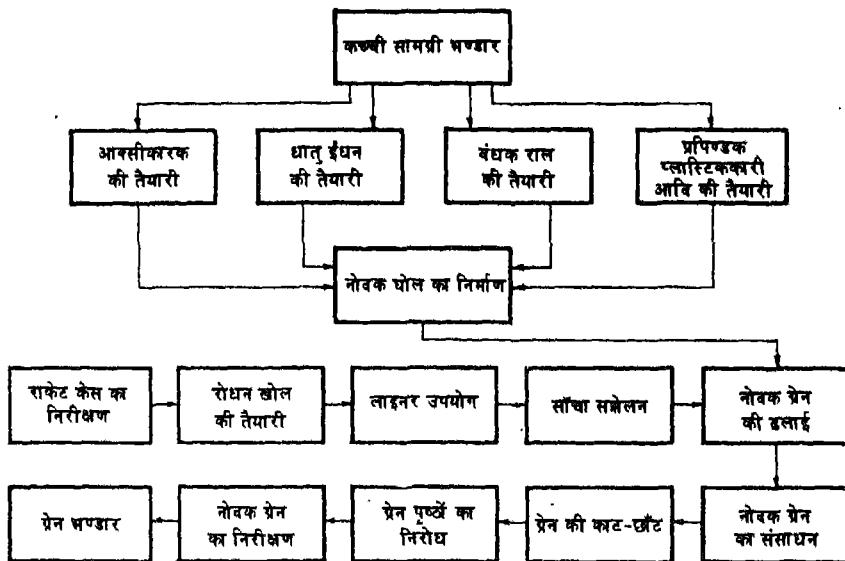
आक्सीकारक	रासायनिक सूत्र	घनत्व (किग्रा. मी^{3})	उपलिब्ध आक्सीजन % भार	संभवन ऊष्मा MJ/KMol	टिप्पणी
अमोनियम नाइट्रेट	NH_4NO_3	1725	19.5	−368.0	**कम कीमत पर** प्रचुर मात्रा में सरलता से उपलब्ध, नानटाक्सिक व बिना धुँए वाली रेचन गैस, आयतन में परिवर्तन होने से नोदक ग्रेन में दरार उत्पन्न कर सकता है।
अमोनियम परक्लोरेट	NH_4ClO_4	1969	34.0	−327.5	सब आक्सीकारकों से अधिक उपयोग में, रेचन गैस में ठोस कणों की मात्रा कम, नॉनटाक्सिक, सरलता से उपलब्ध
सोडियम नाइट्रेट	$NaNO_3$	2256	47.0	−447.0	सोडियम व पोटेशियम नाइट्रेट दोनों का उपयोग बारूद में बहुत पहले समय से, काला धुँआ रेचन गैस में, सरलता से उपलब्ध
पोटेशियम नाइट्रेट	KNO_3	2109	39.5	−497.0	
सोडियम परक्लोरेट	$NaClO_4$	2540	52.2	−420.0	ये दोनों ही तीव्र आक्सीकारक हैं, विषैली व संक्षारक रेचन गैस, ऊँचा ज्वलन दर
पोटेशियम परक्लोरेट	$KClO_4$	2519	46.2	−415.0	
लिथियम परक्लोरेट	$LiClO_4$	2428	60.1	−444.0	बहुत ही तीव्र आक्सीकारक ऊँची दहन-ऊष्मा, रेचन गैस का छोटा आण्विक भार, बहुत ऊँची विशिष्ट आवेग देने की क्षमता, बहुत अधिक आर्द्रताग्राही, उपयोग बहुत सीमित
नाईट्रोनियम परक्लोरेट	NO_2ClO_4	2220	66.0	+ 37.2	बहुत अधिक आर्द्रतागाही और तीव्र प्रतिक्रिया, भावी शक्तिशाली आक्सीकारक

प्लास्टिकारी, बंधक-राल का गाढ़ापन (Viscosity) कम करने में सहायक है और साथ ही नोदक को लचकदार बनाता हैं। डाइआक्टाइल थैलेट (DOP)डाइआक्टाइल एडीपेट (DOA)और डाइब्युटाइल सेबेकेट (DBS) प्लास्टिककारी के तीन मुख्य उदाहरण हैं। इनका चुनाव बंधक-राल के गुणों पर निर्भर करता है। प्रपिण्डक, बंधकराल से रासायनिक प्रतिक्रिया करके इसे ठोस लचकदार प्लास्टिक में बदल देता है। इसमें आक्सीकारक व धातु ईंधन के ठोस कण अच्छी तरह बंधे होते हैं। बंधक राल और प्रपिण्डक की रासायनिक प्रतिक्रिया दोनों के मिलते ही प्रारम्भ हो जाती है। अतः प्रपिण्डक को नोदक घोल में अंत में ही मिलाया जाता है। प्रपिण्डक के अच्छी तरह मिल जाने के बाद तुरन्त ही नोदक घोल को राकेट केस के अंदर डालने की व्यवस्था की जाती है क्योंकि तब इसकी **पाट लाइफ** (Pot Life) सीमित होती है तथा यह ऊँचे ताप पर और कम हो जाती है।

नोदक घोल में ऊपर बताए गए रसायनों के अतिरिक्त कुछ अन्य पदार्थ भी मिलाए जाते हैं जैसे कि नोदक की ज्वलन गति में परिवर्तन लाने के लिए कापर क्रोमाइट, फेरिक आक्साइड, लीथियम फ्लोराइड आदि को मिलाया जाता है। ये सभी ठोस पाउडर के रूप में होते हैं और इनके कणों की औसत नाप 10 से 40 माइक्रोन के बीच होती है। राकेट केस में नोदक घोल को सही ढंग से भरने के लिए यह भी आवश्यक है कि घोल में अच्छा प्रवाह हो और साथ ही इसका गाढ़ापन कम से कम हो। यदि किसी नोदक घोल का गाढ़ापन अधिक है और जिसके कारण इसमें यथेष्ट प्रवाह नहीं है तो इसके सूत्रीकरण में परिवर्तन किया जाता है और प्रक्रमण सहायक (Processing Aid) मिलाया जाता है। लिसीथिन प्रक्रमण सहायक का एक उत्तम उदाहरण है। इसके मिलाने से घोल के गाढ़ापन में बहुत कमी आ जाती है। घोल में मिलाए जाने की इसकी मात्रा भी बहुत थोड़ी होती है अर्थात् 0.2% से भी कम।

ऊपर बताए गए विभिन्न रसायनों के मिलाने से नोदक घोल बनता है जिसे राकेट केस में भर कर भट्टी में पकाने से नोदक ग्रेन बनता है। इस क्रिया के मुख्य चरण चित्र 6 में दिखाए गए हैं।

यहाँ यह समझ लेना लाभप्रद है कि नोदक ग्रेन दो प्रकार के होते हैं—आवरक मुक्त (Free

चित्र 6–नोदकग्रेन बनाने का क्रमदर्शी आरेख

Standing) और आवरक बंधित। आवरक मुक्त ग्रेन बनाने के लिए साँचे का उपयोग किया जाता है। पकाने के उपरांत ग्रेन को साँचे से निकाल लेते हैं। आवश्यकता के समय इस ग्रेन को राकेट केस की दीवारों से चिपका दिया जाता है। इस प्रकार के ग्रेन बनाने के लिए राकेट केस की प्रारंभ में आवश्यकता नहीं पड़ती है अतः इन्हें पर्याप्त मात्रा में बनाकर पहले से ही संचय किया जा सकता है।

आवरक बंधित ग्रेन बनाने के लिए पहले राकेट केस को तैयार करते हैं अर्थात् इसके अंदर रोधन खोल (Insulation Sleeve) लगाया जाता है। तत्पश्चात् इसके अन्दर नोदक घोल डालकर भट्टी में पकाया जाता है। इस प्रकार आवरक बंधित नोदक ग्रेन बनकर तैयार होता है।

नोदक ग्रेन बनाने के विभिन्न चरणों का संक्षिप्त विवरण नीचे दिया जा रहा है:

(1) कच्ची सामग्री की तैयारी

नोदक सामग्री में आक्सीकारक अर्थात् अमोनियम परक्लोरेट की मात्रा सबसे अधिक होती है, लगभग 60 से 75% तक। अतः नोदक की कच्ची सामग्रियों में इसका विशेष ध्यान रखने की आवश्यकता है। सर्वप्रथम इसे अच्छी तरह सुखाया जाता है ताकि इसकी नमी (Moisture) बिल्कुल कम हो जाए। इसके लिए इसे एल्यूमीनियम की थालियों में पतली परत में फैला दिया जाता है और फिर इन्हें एक गर्म वायु कक्ष (Hot Air Chamber) में कुछ घंटों के लिए रख कर इसकी नमी दूर की जाती है। आक्सीकारक के कणों की नाप का नोदक ग्रेन के ज्वलन दर से सीधा संबंध है। यदि कण की नाप बड़ी होती है तो ज्वलन दर में कमी और यदि छोटी होती है तो तेजी आती है। एक अच्छे राकेट के लिए यह अत्यंत आवश्यक है कि इसके नोदक ग्रेन की ज्वलन दर एक समान रहे।

नोदक घोल बनाने के लिए अमोनियम परक्लोरेट के प्रायः दो भागों को मिलाया जाता है। इससे नोदक घोल का गाढ़ापन कम से कम रहता है। एक भाग जिसे **स्थूल** (Coarse) कहा जाता है मोटे कणों का (नाप 200–300 माइक्रोन) और दूसरा भाग जिसे "**सूक्ष्म**" (Fine) कहा जाता है, महीन कणों का (नाप 40 माइक्रोन से कम) बना होता है। सूक्ष्म भाग तैयार करने के लिए आक्सीकारक को पीसने वाली मशीन (Grinding Machine) में पीसा जाता है। ऊपर बताये गये ढंग से आक्सीकारक की आवश्यक मात्रा तैयार की जाती है और इसे एल्यूमीनियम के ड्रम में भर कर मिश्रण यंत्र (Mixer) के पास पहुँचा दिया जाता है।

एल्यूमीनियम पाउडर जो धातु ईंधन है, एक बारीक चूर्ण के रूप में मिलता है। इसे पीसने की आवश्यकता नहीं पड़ती क्योंकि खरीदने के समय ही इसके कणों की नाप का ध्यान रखा जाता है। नोदक बनाने के लिए इसे छान लिया जाता है ताकि अनावश्यक वस्तुएं इसके साथ न आ जाएं। फिर तौलकर इसे एल्यूमीनियम के पात्र (ड्रम) में भर कर मिश्रण यंत्र के पास पहुँचा देते हैं।

नोदक सामग्रियों में बंधक-राल ही एक मुख्य द्रव है। यही अन्य ठोस पदार्थों को एक साथ मिलाकर घोल का रूप देता है, यद्यपि यह स्वयं ही शहद जैसे एक गाढ़े द्रव की तरह होता है। इसे

वायु की आर्द्रता से बचाकर रखना आवश्यक है ताकि नमी का इस पर बुरा प्रभाव न पड़े। बंधक राल को छान और तौल कर इस्पात (स्टेनलेसस्टील) के पात्र में भर लिया जाता है। तत्पश्चात् इसको भी मिश्रण यंत्र के पास पहुँचा दिया जाता है।

अन्य रसायनों को भी जिन्हें नोदक घोल में मिलाना है, छानकर तौल लिया जाता है। इनकी आवश्यक मात्रा को उपयुक्त पात्रों में रखकर मिश्रण यंत्र के समीप पहुँचा दिया जाता है। इस प्रकार अब कच्ची सामग्री की तैयारी पूरी हो गई है।

(2) राकेट केस की तैयारी

राकेट केस की तैयारी का प्रमुख भाग है–रोधन खोल का केस के साथ चिपकाना। राकेट केस की पतली दीवार जलते हुए नोदक की ऊष्मा सहने में असमर्थ होती है। इसे गैस के ऊँचे ताप से बचाने के लिए राकेट केस व नोदक ग्रेन के बीच एक रोधन खोल का उपयोग किया जाता है। आवरण मुक्त ग्रेन में रोधन खोल को ग्रेन बनाने के साँचे में पहले से ही रख दिया जाता है। नोदक घोल इसी के अंदर डाला जाता है। ग्रेन को पकाने के उपरांत यह रोधन खोल ग्रेन का अभिन्न अंग बन जाता है। आवरण बंधित ग्रेन में रोधन खोल को पहले से ही राकेट केस की दीवारों से चिपका दिया जाता है। इसके लिए रोधन चादर का उपयोग करते हैं। सर्वप्रथम केस की सतह को रेत झोंकन (Sand Blasting) व विस्नेहन (Degreasing) क्रिया द्वारा अच्छी तरह साफ कर लिया जाता है। इससे सतह में लगे जंग, धूल, ग्रीज़, तेल आदि दूर हो जाते हैं।

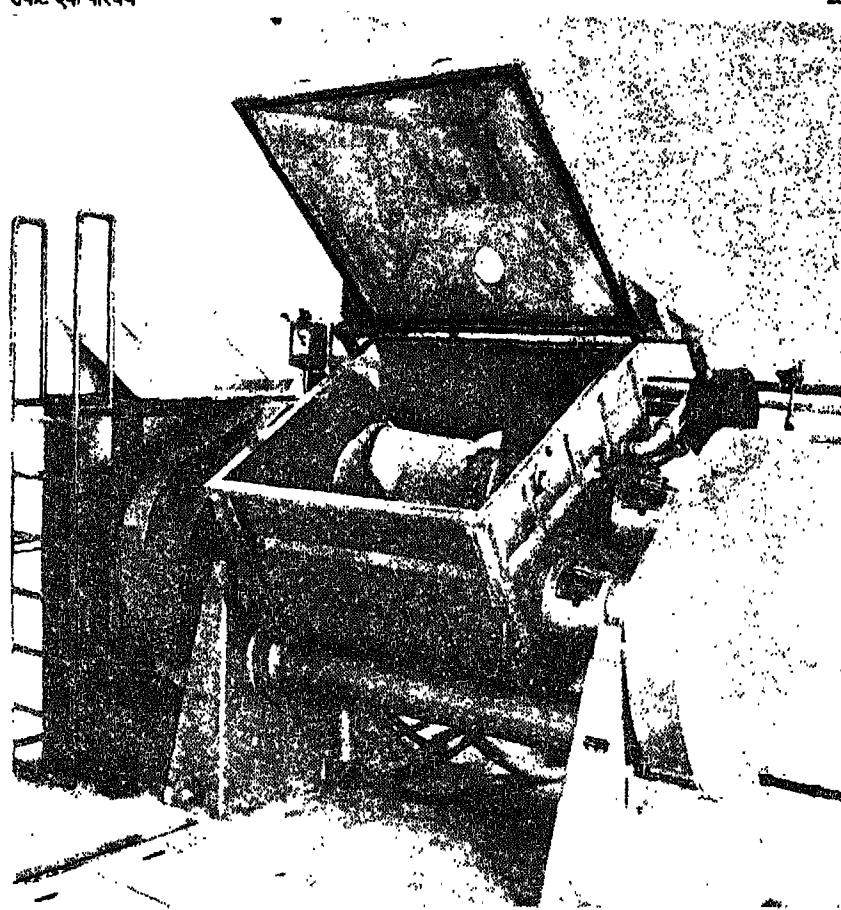
रोधन चादर ब्यूटाडाइन रबड़ (Butadiene Rubber) से बनाई जाती है। रबड़ में सिलिका, कार्क अथवा एस्बेस्टस पाउडर को पूरक के रूप में मिलाया जाता है। इनके मिले रहने से चादर की ऊष्मा सहने की क्षमता में बहुत वृद्धि हो जाती है। चादर की मोटाई लगभग 2 मिमी होती है। यदि अधिक मोटाई की आवश्यकता हो तो कई परतों का उपयोग किया जाता है। रोधन चादर को राकेट केस की दीवारों से चिपकाने के लिए केस की सतह पर एक राल को लेप दिया जाता है। इसके बाद एक-एक करके सभी परतों को एक साथ चिपका दिया जाता है। तब राकेट केस को ऑटोक्लेव (Autoclave) में रखकर रोधन को पका लिया जाता है। ऑटोक्लेव एक विद्युत आवा की तरह होता है जिसमें ऊष्मा और दाब दोनों पर ही नियंत्रण रखा जा सकता है। रोधन को

पकाने के लिए लगभग 100° से० ताप व 5 बार (Bar) दाब की आवश्यकता होती है। रोधन के पकाने की इस क्रिया को **वल्कनीकरण** (Vulcanisation) कहते हैं। इस क्रिया से रोधन चादर में काफी मजबूती आ जाती है और इसकी विभिन्न परतें मिलकर एक हो जाती हैं।

रोधन खोल राकेट केस को गैस की प्रचण्ड ऊष्मा से बचाता है और साथ ही आवरक बंधित ग्रेन को केस से सीधा संलग्न किया जाये तो ऊष्मीय विकृति के कारण या तो नोदक ग्रेन केस से अलग हो जाता है अथवा ग्रेन के ईंधन-द्वार (पोर्ट) में दरार उत्पन्न हो जाती है। फिर भी इसे राकेट मोटर में "**बेकार का बोझ**" की संज्ञा दी गई है। इसका कारण यह है कि यह खोल नोदक की तरह जलकर लाभदायक ऊर्जा नहीं पैदा करता है। अतः इसके चुनाव में विशेष ध्यान दिया जाता है कि इसका भार कम से कम रहे।

(3) नोदक घोल की तैयारी

ऊपर बताए गए ठोस व द्रव सामग्रियों को एक में मिलाकर अच्छा नोदक घोल बनाने का कार्य मिश्रण यंत्र में किया जाता है। मुख्यतः ये दो प्रकार के होते हैं–क्षैतिज मिश्रण यंत्र (Horizontal Mixer) और **ऊर्ध्वाधर मिश्रण यंत्र** (Vertical Mixer) क्षैतिज मिश्रण यंत्र को सिगमा मिश्रण यंत्र भी कहा जाता है। यहाँ घूमने वाले ब्लेड का अक्ष क्षैतिज रहता है और ऊर्ध्वाधर मिश्रण यंत्र का ब्लेड ऊर्ध्वाधर। दोनों प्रकार के यंत्र नोदक घोल बनाने में इस्तेमाल होते हैं। सर्वप्रथम बंधक राल और प्लास्टिककारी को मिश्रण यंत्र में डालते हैं और फिर एल्यूमीनियम पाउडर डालते हैं। इनका अच्छा घोल बन जाने के बाद अमोनियम परक्लोरेट को दो या तीन चरणों में मिलाते हैं। इसी समय प्रपिण्डक के अतिरिक्त अन्य बचे हुए रसायनों को भी डाल देते हैं। मिश्रण यंत्र को पर्याप्त समय(2-3 घंटे)तक चलाकर इनका अच्छा घोल तैयार कर लिया जाता है। अंत में प्रपिण्डक मिलाते हैं। इसके मिलाते ही इसकी व बंधकराल की रासायनिक प्रतिक्रिया प्रारंभ हो जाती है। अतः इसे तभी मिलाते हैं जब राकेट केस में नोदक घोल भरने की सभी तैयारियाँ पूरी हो चुकी हों। चित्र 7 में नोदक घोल की तैयारी सिगमा मिश्रण यंत्र में देखी जा सकती है।

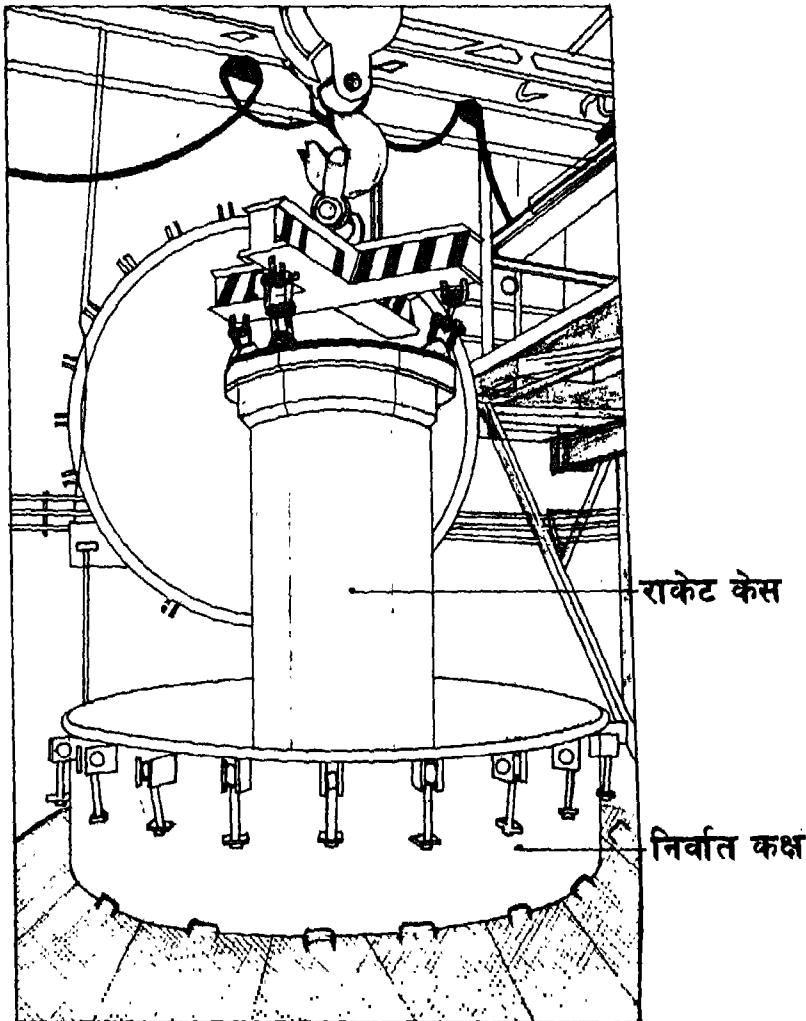
नोदक घोल के तैयार हो जाने के बाद इसे इस्पात (स्टेनलेसस्टील) के बने पात्र में एकत्रित

चित्र 7–सिगमा मिक्सर में नोदक घोल का निर्माण

कर लिया जाता है और इसके मुख को ढक्कन से बंद कर ग्रेन की ढलाई के लिए पहुँचा दिया जाता है।

(4) नोदक ग्रेन की ढलाई

रोधन खोल से युक्त राकेट केस को ढलाई के अन्य अंगों से संलग्न किया जाता है। मुख्य अंग हैं–मैन्ड्रल (Mandrel) , केन्द्रीय छल्ला(Centre Ring),तली की प्लेट (Bottom Plate) और आस्फालन रक्षक (Splash Guard) मैन्ड्रल इस्पात अथवा एल्यूमीनियम धातु का बना होता है। इसे राकेट केस के बीचोंबीच स्थापित किया जाता है। इसे इस स्थिति में केन्द्रीय छल्ला सहायक है। मैन्ड्रल को कोर (Core) भी कहा जाता है। यही नोदक ग्रेन की आन्तरिक आकृति को निर्धारित करता है। यदि ग्रेन का ईंधन द्वार "तारा" आकार का है तो मैन्ड्रल को भी इसी आकार में बनाया जाता है। ग्रेन के ईंधन द्वार का आकार निश्चित करने के लिए कई बातों पर विचार करना पड़ता है। इनका विवरण व पोर्ट के विभिन्न संभव रूपों का विश्लेषण आगे के पृष्ठों में दिया गया है।

मैन्ड्रल व राकेट केस के बीच वाले स्थान(Annular Gap) में ही नोदक घोल भरा जाता है। तली की प्लेट राकेट केस के निचले सिरे से जोड़ी जाती है। यह नोदक घोल को केस के बाहर जाने से रोकती है। इसी प्लेट के ऊपर मैन्ड्रल भी टिकाया जाता है। आस्फालन रक्षक को राकेट केस के ऊपरी सिरे से जोड़ते हैं। घोल डालने के समय यह गार्ड इसे बाहर छलकने से बचाता है।

इन अंगों से सुसज्जित करके राकेट केस को निर्वात–कक्ष (Vacuum Chamber) के अंदर रखा जाता है। कक्ष का ढक्कन बंद कर निर्वात पंप चालू किए जाते हैं जिससे कक्ष की वायु बाहर निकल जाती है। मिक्सर से लाये गये नोदक भरे पात्र को निर्वात-कक्ष के ऊपर स्थापित किया जाता है। इस पात्र से जुड़े विसर्जन वाल्व (Discharge Valve) को निर्वात कक्ष के नोदक द्वार से जोड़ दिया जाता है। जब निर्वात कक्ष की वायु बाहर निकल जाती है तब वाल्व को खोलकर घोल का भरना प्रारंभ किया जाता है। जब यह पात्र खाली हो जाता है तब वाल्व बंद कर इसे हटा दिया जाता है और घोल से भरा दूसरा पात्र लगाया जाता है। यह क्रिया तब तक जारी रखी जाती है जब तक कि नोदक की आवश्यक मात्रा राकेट केस के अंदर न पहुँच जाए। ढलाई के उपरान्त निर्वात पंप को बंद कर निर्वात अवस्था तोड़ दी जाती है और कक्ष का दरवाजा खोल कर नोदक से भरे राकेट केस को बाहर निकाल लिया जाता है।

चित्र 8—नोदक घोल से भरे राकेट केस को निर्वात कक्ष के बाहर निकालना

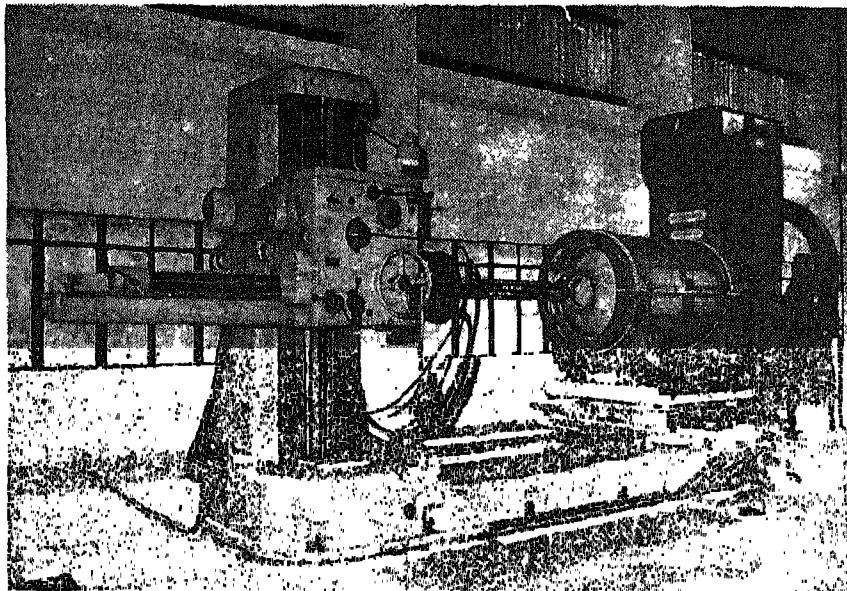
नोदक ग्रेन की ढलाई निर्वात कक्ष के अंदर की जाती है ताकि घोल में हवा के बुलबुले न रह जाएँ, अन्यथा नोदक ग्रेन में वात–छिद्र (Blow Holes) बन सकते हैं। इनके होने से ग्रेन की ज्वलन क्रिया में गड़बड़ी उत्पन्न हो जाती है और राकेट अपनी उड़ान में असफल हो सकता है। अतः यह परम आवश्यक है कि ढलाई के समय निर्वात कक्ष में यथेष्ट निर्वात बना रहे। चित्र 8 में नोदक घोल से भरे हुए राकेट केस को निर्वात कक्ष के बाहर निकाला जा रहा है।

(5) नोदक का संसाधन

ढलाई के समय नोदक एक घोल के रूप में रहता है। इसे ठोस की अवस्था में लाने के लिए राकेट केस को एक विद्युत-आवा में रखकर पकाया जाता है। नोदक पकाने की इस क्रिया को संसाधन कहते हैं। ऊँचे ताप पर बंधक राल एवं प्रपिण्डक के बीच की रासायनिक क्रिया तेजी से बढ़ती है और संसाधन के सम्पन्न होने तक नोदक घोल एक ठोस, लचकदार प्लास्टिक में बदल जाता है। संसाधन ताप और संसाधन समय नोदक ग्रेन के रासायनिक सूत्र तथा ग्रेन की नाप पर निर्भर करते हैं। पालीब्यूटाडाइन बंधक राल से बने एक मीटर व्यास वाले नोदक ग्रेन को पकने के लिये लगभग 70^0 सें० ताप और 15 दिन का समय लगता है। संसाधन के बाद नोदक ग्रेन को ठंडा होने के लिए एक सप्ताह का और अवकाश दिया जाता है। तत्पश्चात् आवा से निकाल कर ढलाई के अन्य अंग इससे अलग कर दिये जाते हैं। इस अवस्था में नोदक ग्रेन राकेट केस की दीवार से चिपके रोधन खोल के साथ मजबूती से बंधा रहता है। ग्रेन के दोनों सिरों को समतल करने के लिए इसे अब कटाई मशीन में ले जाते हैं।

(6) ग्रेन की काट-छाँट

नोदक ग्रेन के सिरों की काट-छाँट की जाती है ताकि ये पूरी तरह से समतल रहें और साथ ही किनारे के दोषी भागों को नोदक से अलग किया जा सके। नोदक में काट-छाँट के घर्षण से स्वतः ही आग लगने की संभावना के कारण ग्रेन काटने का काम एक ऐसी मशीन द्वारा किया जाता है जिसे दूर से ही प्रचालित किया जा सके।

ग्रेन के ईंधन द्वार में त्रिज्य खाँचे (Radial Slots) बनाने के लिए एक विशिष्ट बोरिंग

चित्र 9—नोदक ग्रेन की कटाई

मशीन का उपयोग किया जाता है। चित्र 9 में नोदक ग्रेन की एक ऐसी ही मशीन द्वारा कटाई की जा रही है। कटे हुए नोदक के टुकड़ों (Chips) को निर्वात पंप की सहायता से तुरंत बाहर निकाल दिया जाता है। अतः घर्षण के कारण इसमें आग लगने की संभावना बहुत कम हो जाती है।

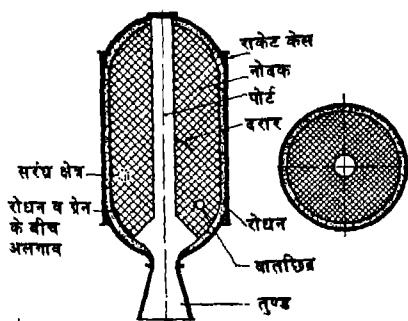
(7) ग्रेन निरोध

नोदक ग्रेन के दोनों सिरों को एक विशेष राल से लेपित कर दिया जाता है। इससे ज्वलन क्रिया इन पृष्ठों से प्रारंभ नहीं होती और न ही ये पृष्ठ क्रिया में भाग लेते हैं। ग्रेन के अन्य भाग को भी जहाँ ज्वलन क्रिया प्रारंभ नहीं होनी चाहिए इसी राल से लेपित किया जाता है। लेपित करने वाली यह राल पालीयूरीथेन बंधक से बनी है, तथा सामान्य ताप पर ही द्रव से ठोस प्लास्टिक के रूप में बदल

जाती हैं। इसमें एसबेस्टस पाउडर **पूरक** के रूप में मिला होता है। अलग-अलग बनाये गए नोदक के विभिन्न खण्डों को जोड़ने के लिए भी इसी राल का उपयोग किया जाता है।

(8) ग्रेन निरीक्षण

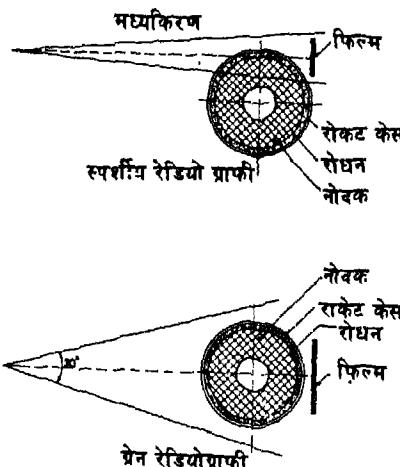
निरोधी राल से लेपित करने पर नोदक ग्रेन की रचना पूरी हो जाती है। ग्रेन अब अंतिम निरीक्षण के लिए तैयार है। सर्वप्रथम ग्रेन की नाप-तौल की जाती है और नोदक की सही मात्रा ज्ञात की जाती है। फिर ग्रेन में दृश्य-पर्यवेक्षण (Visual Observation) द्वारा ऊपर से दिखलायी पड़ने वाले दोषों को खोजा जाता है। इसके लिए विशेष यत्र जैसे बोरोस्कोप, फाइबरोस्कोप आदि का प्रयोग किया जाता है। ग्रेन के ईंधन द्वार में यदि दरार जैसा दोष दिखाई पड़ता है तो उस दोष की नाप जैसे कि लम्बाई, गहराई, चौड़ाई आदि मालूम की जाती है।

ग्रेन के आन्तरिक दोषों को खोजने के लिए एक्स-रे (x-ray) निरीक्षण करने की आवश्यकता होती है। इस कार्य के लिए एक्सरे मशीन व आइसोटोप कैमरे का उपयोग होता है। इन यंत्रों से ग्रेन के आंतरिक दोष जैसे कि दरार(Crack), अलगाव (Debond), संरध्रता (Porosity), वात-छिद्र (Blow Holes) आदि के विषय में जानकारी प्राप्त होती है।

चित्र 10—नोदक ग्रेन के आंतरिक दोष

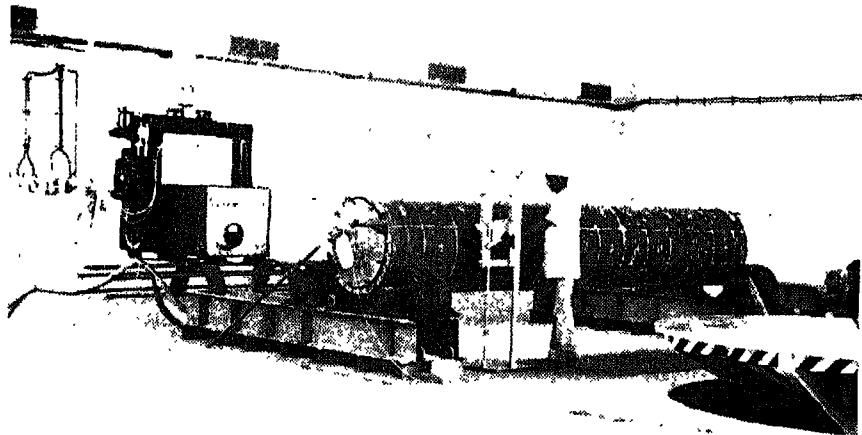
नोदक ग्रेन के ये दोष चित्र 10 में देखे जा सकते हैं। एक्सरे की सहायता से ग्रेन के दोषों की खोज करने की क्रिया को रेडियोग्राफी (Radiography) कहते हैं। रेडियोग्राफी दो प्रकार की होती है:

(1) ग्रेन रेडियोग्राफी (Grain Radiography) : इसके द्वारा दरार, संरध्रता, वात-छिद्र आदि जैसे दोषों को जो ग्रेन के अन्दर विद्यमान हैं, खोजा जाता है।

(2) स्पर्शीय रेडियोग्राफी (Tangential Radiography) इसके द्वारा ग्रेन और रोधन खोल के बीच अथवा रोधन खोल और राकेट के बीच का अलगाव देखा जाता है।

चित्र 11 एवं 12 में उपर्युक्त दोषों को खोजने के लिए ग्रेन और स्पर्शीय रेडियोग्राफी के तरीके दिखाये गये हैं। एक्सरे द्वारा निर्मित चित्र रेडियोग्रैफिक फिल्म के ऊपर बनता है। इस फिल्म का फिर विशिष्ट यंत्रों की सहायता से निरीक्षण करते हैं, और ग्रेन के दोषों की स्थिति का पता लगाते हैं। निरीक्षण के बाद परिणामों का विश्लेषण कर यह ज्ञात किया जाता है कि नोदक ग्रेन

चित्र 11–ग्रेन व स्पर्शीय रेडियोग्राफी

राकेट की उड़ान के उपयुक्त है अथवा नहीं। यदि कोई कमी पाई जाती है तो उसे सुधार कर ठीक करने का प्रयास किया जाता है। यदि ग्रेन के दोष गंभीर प्रकृति के हैं और उनको ठीक करना संभव नहीं है तो नोदक ग्रेन को अस्वीकृत कर दिया जाता है। अस्वीकृत ग्रेन को राकेट केस से बाहर निकालने के लिए उच्च दाब पर निकलती हुई पानी की महीन धार (Water Jet) का प्रयोग करते हैं। इससे ग्रेन छोटे-छोटे टुकड़ों में कट जाता हैं जिन्हें बाहर निकाल कर राकेट केस की सफाई कर ली जाती है। इन टुकड़ों को सावधानी से ले जाकर जला दिया जाता है। राकेट केस को पुनः नोदक भरने के लिए अब तैयार किया जा सकता है।

नोदक ग्रेन की भली-भाँति जाँच करने के बाद इसे ग्रेन भंडार-गृह में संचय करने की स्वीकृति दी जाती है। यदि संचय-अवधि लंबी हुई तो उपयोग में लाने के पहले इसका पुनः निरीक्षण किया जाता है।

चित्र 12–राकेट मोटर की रेडियोग्राफी के लिए एक्सरे फ़िल्म लगाई जा रही है।

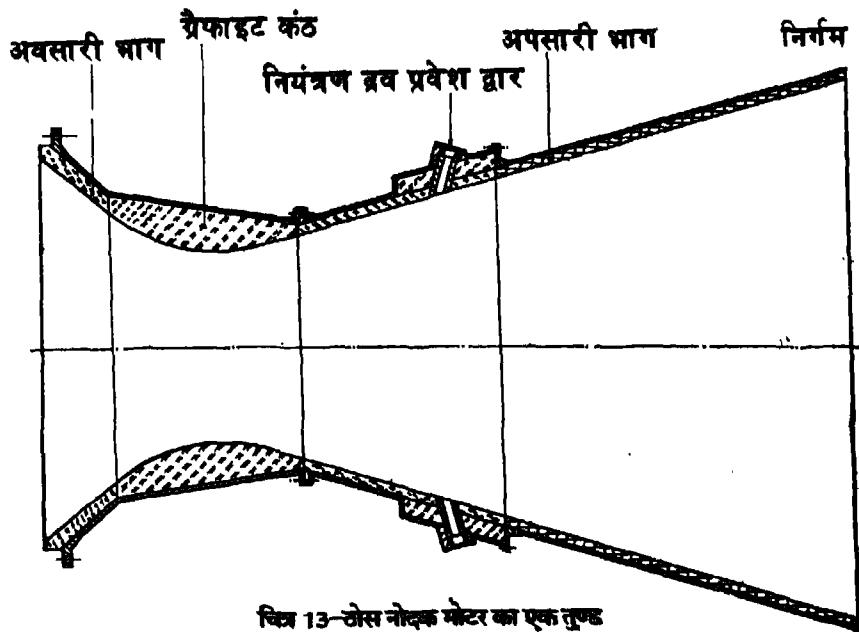
(3) तुण्ड

राकेट का एक महत्वपूर्ण अंग तुण्ड है। इसके बिना नोदक भरे राकेट केस को नोदक ग्रेन ही कहना अधिक उचित होगा। तुण्ड व प्रज्वालक से संयुक्त होने के बाद इसकी आकृति में बहुत परिवर्तन हो जाता है और तब इसकी सुरक्षा का विशेष ध्यान रखना आवश्यक है। आकस्मिक प्रज्वलन हो जाने पर यदि तुण्ड संयुक्त न हुआ तो नोदक तीव्रता से जलेगा और इससे प्रचण्ड आग फैलने की संभावना होगी। किन्तु यदि इसमें तुण्ड लगा हुआ हो तो यह एक राकेट की भाँति तेज़ी से किसी भी दिशा में जा सकता है और अप्रत्याशित आघात से जान-माल की भीषण क्षति कर सकता है। अतः यह परम आवश्यक है कि नोदक ग्रेन को तुण्ड से संयुक्त करने के बाद अत्यंत सावधानी-पूर्वक उठाया व रखा ज़ाए।

नोदक ग्रेन की ज्वलन क्रिया से गर्म गैस उत्पन्न होती है जो राकेट के तुण्ड से होते हुए बाहर निकलती है। यह तुण्ड ही गैस की ऊष्मा ऊर्जा को गतिज ऊर्जा के परिवर्तन में सहायता करता है। दहन कक्ष के अंदर गैस का ताप 2,500 से लेकर 3,500 K तक हो सकता है। तुण्ड के कंठ पर गैस का वेग ध्वनिक चाल (ध्वनि के वेग के बराबर) हो जाता है। इसी स्थान पर गैस का ताप भी उच्चतम होता है। विकास द्वार से बाहर निकलते-निकलते गैस का ताप गिर कर लगभग 1,000 K हो जाता है। बाहर निकलती हुई गैस का वेग सुपरसोनिक (ध्वनि के वेग से अधिक) होता है। निकलती हुई गैस के कण तुण्ड पर बहुत जोर से घर्षण करते हैं अतः ज्वलन के समय तुण्ड के दीवार की मोटाई कम होने लगती है।

ज्वलन के दौरान ठोस नोदक वाले राकेट में तुण्ड की ऊष्मा को कम करने के साधन उपलब्ध नहीं है। जबकि द्रव नोदक राकेट मोटर में द्रव आक्सीकारक व द्रव ईंधन को दहन कक्ष में भेजने के पहले तुण्ड के बाहरी पृष्ठ में प्रवाहित करते हैं। इससे तुण्ड का ऊष्मा मान बहुत कम हो जाता है और इस कारण यहाँ तुण्ड की रक्षा करना अपेक्षाकृत सरल कार्य है। ठोस राकेट मोटर में ऊष्मा का उत्पादन इतनी ऊँची दर से होता है कि साधारणतया इसे किसी द्रव के प्रवाह से कम नहीं किया जा सकता है। इसके अलावा नोदक ग्रेन के पास कोई द्रव उपलब्ध नहीं है जिसे प्रवाहित किया जा सके। इस कारण ठोस नोदक के मोटर में तुण्ड की रचना इस प्रकार की जाती है कि वह स्वयं ही इस ऊष्मा से अपनी रक्षा कर सके। अर्थात् इसमें उपयुक्त ऊष्मा रोधन पदार्थों का उपयोग किया जाता है।

तुण्ड के मुख्य रूप से तीन भाग होते हैं–अभिसारी खण्ड, कंठ और अपसारी खण्ड। अपसारी कोण प्रायः 30^0 के लगभग होता है। तुण्ड के सबसे संकरे द्वार को कंठ कहा जाता है। यही वह भाग है जहाँ गैस कण ध्वनिक चाल के वेग के बराबर पहुँचते हैं और यहीं पर तुण्ड को उच्च ताप का सामना करना पड़ता है। कंठ वाले भाग को एक विशेष प्रकार के ताप अपघटनी ग्रैफाइट (Pyrolitic Graphite) से बनाया जाता है। इसकी ताप सहनशक्ति उच्चकोटि की होती है और इसकी अपरदन गति (Erosion Rate) भी बहुत कम होती है। (अपरदन से तात्पर्य है तुण्ड की दीवार की मोटाई का कम होना)।

चित्र 13—ठोस नोदक मोटर का एक तुण्ड

कंठ के पहले वाले अर्थात् नोदक ग्रेन के पास वाले भाग को अभिसारी गुम्बद (Convergent Dome) कहा जाता है। एक विशेष विधि से बनाये गये रिफ्रासिल क्लाथ (Refrasil Cloth) को राल में भिगोकर इस अभिसारी गुम्बद की रचना की जाती है। कंठ के बाद वाले भाग को अपसारी शंकु (Divergent Cone) कहा जाता है। सिलिका और एसबेस्टस के मिश्रण को प्रेस में दबाकर बनाये गये कपड़े से इसका निर्माण होता है। चित्र 13 में एक सामान्य प्रकार के तुण्ड के विभिन्न अंगो को दिखाया गया है।

शंकु के अंतिम सिरे का व्यास निर्गम व्यास (Exit Diameter) कहलाता है। गैस के निकलने का दाब इसी व्यास पर निर्भर करता है। यह दाब बाहरी वायुमण्डल के दाब से कम नहीं होना चाहिए। गैस का अधिक प्रसार होने पर राकेट को अधिक ऊर्जा मिलती है। इसलिए तुण्ड की

अभिकल्पना करते समय निर्गम व्यास बड़ा से बड़ा रखने का प्रयास किया जाता है। किन्तु यदि इसे इतना बड़ा बना दें कि निकलने वाली गैस का दाब बाहरी वायुमण्डलीय दाब से कम हो जाये तो एक शक्तिशाली प्रघाती तंरग (Shock Wave) उत्पन्न हो जाती है जो राकेट की उड़ान में कठिनाइयाँ पैदा कर सकती है।

जब राकेट पृथ्वी की सतह पर ही जलना प्रारम्भ करता है तब इसके शंकु का निर्गम व्यास ऐसा रखा जाता है कि निकलने वाली गैस का दाब एक ''बार'' से थोड़ा अधिक रहे। जब राकेट पूर्ण या आंशिक निर्वात की अवस्था (ऊपरी वायुमण्डल) में काम करता है तब राकेट के तुण्ड की लम्बाई बहुत अधिक हो जाती है। इसके कारण राकेट मोटर की नाप व भार अनावश्यक रूप से बढ़ जाते हैं। ऐसी स्थिति में तुण्ड के अपसारी भाग को घंटी (Bell) के आकार का बनाया जाता है।

(4) प्रज्वालक

हम पहले बता चुके हैं कि राकेट के प्रज्वालन अर्थात् ज्वलन क्रिया को प्रारंभ करने का कार्य विद्युत द्वारा किया जाता है। इसके लिए एक प्रारंभक (Initiator) की आवश्यकता होती है। इसमें एक विशिष्ट धातु का. तार होता है जिसका वैद्युत प्रतिरोध (Electrical Resistance) सामान्य ताप पर स्थिर रहता है। इस तार के दो सिरों को एक अन्य तार से जिसका विद्युत प्रतिरोध न के बराबर है,जोड़ दिया जाता है। इस प्रकार के जोड़े हुए भागों को चालक तार (Leads) कहते हैं और मुख्य तार को मणिका (Bead) । इस मणिका के विद्युत प्रतिरोध का एक निश्चित मान होता है और जो सामान्य ताप पर स्थिर रहता है। मणिका को एक ऐसे रासायनिक लेपन से ढक देते हैं जो थोड़ी गर्मी पाते ही जलने लगता है। चालक तार को विद्युत-प्रदाय (Power Supply) से जोड़ दिया जाता है। चालक तार व मणिका से बने इस जोड़े को स्किब कहा जाता है। विद्युत भेजने पर मणिका का तार हीटर की भाँति गर्म हो जाता है। और ऊपर लगा रासायनिक लेपन जलने लगता है। इस प्रकार विद्युत द्वारा राकेट के नोदक को प्रज्वलित करने के लिए स्किब का उपयोग किया जा सकता है।

यदि राकेट मोटर के अन्दर केवल स्किब को रखा जाए तो इसके रासायनिक लेपन से उत्पन्न

ऊष्मा नोदक को ज्वलित करने के लिए पर्याप्त नहीं होती है। इसका कारण यह है कि नोदक तभी प्रज्वलित होता है जब इसका ताप आत्मज्वलन ताप (Auto-Ignition Temperature) के बराबर या अधिक हो। साधारणतया यह ताप 250°से० के समीप होता है। नोदक के किसी भाग का ताप यहाँ तक पहुँचने के लिए ऊष्मा की पर्याप्त मात्रा होनी चाहिए। अतः स्किब की मणिका के चारों तरफ ब्लैक पाउडर की कुछ मात्रा रख दी जाती है। यह ब्लैक पाउडर जलने पर यथेष्ट प्रदान करता है जिससे छोटे नोदक ग्रेन की ज्वलन क्रिया आसानी से प्रारम्भ हो जाती है। किन्तु बड़े राकेट के नोदक ग्रेन को प्रज्वलित करने के लिए यह यंत्र भी बहुत सफल नहीं रहा है। अतः विभिन्न प्रकार के प्रज्वालक तंत्रों का समय-समय पर विकास हुआ है। राकेट मोटर में प्रज्वालक तंत्र राकेट के शीर्ष अथवा तुण्ड से संलग्न रहता है। प्रज्वालक तंत्र का चुनाव राकेट मोटर के डिज़ाइन और इसके उपयोग पर निर्भर करता है। इसके चुनाव में इस बात पर अधिक जोर दिया जाता है कि इसकी विश्वसनीयता बहुत ऊँची हो। ठोस नोदक राकेट में इस्तेमाल किए गए विभिन्न प्रज्वालक तंत्रों का संक्षिप्त विवरण नीचे दिया जा रहा है।

(1) बैग इग्नाइटर

इसमें ब्लैक पाउडर को एक पालिथीन बैग के अंदर भरकर बैग को नोदक ग्रेन के ईंधन द्वार में रख दिया जाता है। इसी के अंदर स्किब रखा जाता है। चित्र 14 में इस प्रकार के प्रज्वालक तंत्र को देखा जा सकता है। ऐसे तंत्र की रचना सबसे सरल है। किन्तु इसकी विश्वसनीयता संतोषजनक न होने के कारण राकेट विज्ञान में इसका उपयोग बहुत सीमित रहा है।

चित्र 14—ठोस नोदक मोटर के अन्दर बैग इग्नाइटर

(2) पाउडर कैन इग्नाइटर

यहाँ पालिथीन बैग के स्थान पर हल्की धातु के बने डिब्बे का उपयोग किया जाता है। इस डिब्बे की

एक साइड कमजोर बनाई जाती है ताकि प्रारंभन के समय यह भाग सबसे पहले खुले और काले चूर्ण (Black Powder) के जलते हुए कण इसी दिशा की ओर निकलें। इस प्रकार इस तंत्र से प्रज्वालन की दिशा में नियंत्रण पा लिया गया है किन्तु इसकी निकलने वाली ऊर्जा पर अभी भी कोई नियंत्रण नहीं है। इस कारण इस प्रज्वालक तंत्र का उपयोग भी सीमित रहा है।

(3) जेली रोल

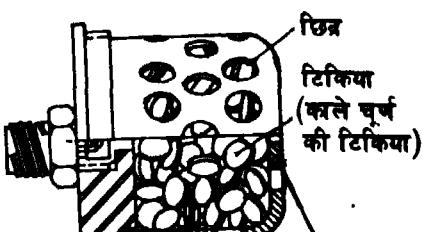
इसको बनाने के लिए कपड़े, कागज अथवा प्लास्टिक की चादर पर पायरोटेकनिक चार्ज की एक पतली परत लगा दी जाती है। फिर इस चादर को लपेट कर एक पतली नली के आकार में बना लिया जाता है। स्किब और प्रारंभिक चार्ज को नली के बीच में रखा जाता है। इस प्रकार जेली रोल प्रज्वालक तंत्र की रचना पूरी हो गई है। इसका इस्तेमाल राकेट के तुण्ड सिरे से किया जाता है। अच्छी विश्वसनीयता के कारण इनका उपयोग छोटे और मध्यम श्रेणी के राकेट मोटरों में बहुत हुआ है। किन्तु इनको बड़े राकेट से संलग्न करने में अनेक कठिनाइयाँ आती हैं। जेलीरोल से बने बड़े नाप वाले प्रज्वालक तंत्र को बड़ी सावधानी से उठाना व रखना पड़ता है क्योंकि इनके टूटने की संभावना अधिक होती है। इनके बड़े तंत्रों से कभी-कभी प्रघाती तरंग भी उत्पन्न हो जाती है। अतः इनका उपयोग भी अधिक विस्तृत नहीं हो पाया है।

(4) बास्केट इग्नाइटर

धातु की बनी चादर अथवा फाइबर प्रबलित प्लास्टिक की चादर में अनेक छेद कर लिए जाते हैं और इसे एक बास्केट की आकार में बना लेते हैं। इसके अंदर काले चूर्ण से बनी टिकियाँ (Pellets) भर दी जाती हैं। प्रज्वलन के लिए स्किब व प्रारंभिक चार्ज का उपयोग किया जाता है। इस समय टिकियाँ बास्केट के अन्दर ही बनी रहती हैं। इनके जलने से जो गैस बनती है उसी के गर्म कण छेदों से बाहर निकल कर नोदक ग्रेन का प्रज्वलन करते हैं। चित्र 15 में बास्केट प्रज्वालक तंत्र को देखा जा सकता है। इस प्रकार के तंत्र का भार अधिक होता है जिससे

चित्र 15—वास्केट इग्नाइटर

राकेट की क्षमता पर हानिकारक प्रभाव पड़ता है। इस तंत्र के साथ एक और प्रतिबन्ध यह भी है कि यह राकेट के शीर्ष भाग से ही जोड़ा जा सकता है।

(5) इल्कोजेट इग्नाटर

वास्केट इग्नाइटर की भाँति यहाँ भी टिकियों का इस्तेमाल किया जाता है। ये टिकियाँ एल्यूमीनियम और पोटेशियम परक्लोरेट चार्ज से बनायी जाती हैं। टिकियों को एक ज्वाला नलिका जाल (Flame Tube Trap) के अंदर रखा जाता है। यह नलिका एक दूसरी नलिका के अंदर रहती है जिसे प्रज्वालक कक्ष कहते हैं। इस प्रकार के प्रज्वालक तंत्र का उपयोग अभी तक लगभग सभी प्रकार के ठोस नोदक राकेटों में किया गया है। किन्तु भार अधिक होने के कारण इसमें सुधार लाने के निरन्तर प्रयास किये जा रहे हैं।

(6) पायरोजन इग्नाइटर

यह तंत्र आज के सभी बड़े राकेटों का प्रज्वालक तंत्र है। इसका विकास सर्वप्रथम अमरीका के थायोकॉल (Thiokol) कम्पनी में किया गया था। इसमें ऊँची ज्वलन दर वाले एक नोदक को मुख्य चार्ज के रूप में इस्तेमाल किया जाता है। इस प्रकार का प्रज्वालक तंत्र एक छोटे राकेट की तरह ही है। चित्र 16 में इस प्रकार के तंत्र को दिखाया गया है। इसके मुख्य अंग हैं–प्रज्वलन नोदक ग्रेन, बूस्टर चार्ज, रिले व सेफ–आर्म युनिट। फाइबर प्रबलित प्लास्टिक (FRP) की बनी नली में प्रज्वलन नोदक ग्रेन भरा जाता है। इससे संलग्न अग्निक (Pyrotechnique) चार्ज रहता है जो प्राइमरी, रिले व बूस्टर चार्ज के नाम से तीन भागों में बँटा रहता है। प्रज्वलन नोदक मुख्य चार्ज का काम करता है। स्किब द्वारा प्राइमरी चार्ज का प्रारंभन किया जाता है जो रिले व बूस्टर चार्ज को प्रज्वलित करता है। बूस्टर चार्ज के गर्म कण

प्रज्वलन नोदक ग्रेन को ज्वलित करते हैं। इसके जलने से गर्म गैस उत्पन्न होती है जो तुण्ड से निकल कर मुख्य राकेट के सम्पर्क में आती है। इस प्रकार मुख्य नोदक का प्रज्वालन होता है। आज के बड़े-बड़े सभी राकेटों में इसी तंत्र का उपयोग होता है। इसकी विश्वसनीयता बहुत ऊँची होती है। इसे मोटर के शीर्ष भाग से ही संलग्न किया जाता है। मुख्य राकेट में प्रज्वालक

चित्र 16–पायरोजन इग्नाइटर के विभिन्न भाग

तंत्र को स्थापित करने के समय प्रारंभक व रिले चार्ज नहीं लगाए जाते हैं। ऐसा सुरक्षा की दृष्टि से किया जाता है। प्रज्वालक तंत्र में प्रारंभक इस प्रकार रखा जाता है कि जब तंत्र **आर्म** (Arm) स्थिति में हो तो यह चार्ज की लाइन में आए और **सेफ** (Safe) स्थिति में लाइन से बाहर। इस प्रकार सेफ-आर्म (Safe-Arm) युनिट राकेट को किसी असावधानी के कारण हो जाने वाले आकस्मिक प्रज्वालन से बचाती है।

□□

5

आंतरिक प्राक्षेपिकी

श्वेता और उसके सहपाठी **ठोस नोदक ग्रेन** के निर्माण-क्रिया से भली-भाँति परिचित हो जाने पर भी संतुष्ट नहीं दिखाई दे रहे थे। एक ठोस नोदक राकेट में नोदक ग्रेन होता है जिसे राकेट केस के अंदर भर दिया जाता है। राकेट केस में एक तुण्ड जोड़ दिया जाता है और नोदक ग्रेन को प्रज्वलित करने के लिए प्रज्वालक तंत्र को राकेट के शीर्ष से संलग्न किया जाता है। बस राकेट उड़ने के लिए तैयार हो गया है। किन्तु प्रश्न यह उठता है कि नोदक ग्रेन का आकार किस प्रकार से निश्चित किया गया है। इसमें क्या ईंधन द्वार का होना अनिवार्य है? यदि इस खोखले स्थान को भी नोदक से भर दिया जाता तो हमें और अधिक ऊर्जा प्राप्त हो सकती थी। मैन्ड्रूल की डिज़ाइन किस आधार पर की जाती है? ऐसे ही अनेक प्रश्नों को सुनकर उनके अध्यापक ने बताया कि यदि वे इन सभी का उत्तर जानने के इच्छुक हैं तो ठोस नोदक राकेट की आन्तरिक प्रक्षेपिकी को समझना पड़ेगा। सभी छात्रों की **हाँ, हम तैयार हैं** स्वीकृति जानकर अध्यापक महोदय ने आज का पाठ प्रारंभ किया।

आधुनिक राकेट के विकास के पहले आंतरिक प्राक्षेपिकी (Internal Ballistics) शब्द का प्रयोग **तोपखाने** (Gun Chamber) के अन्दर होने वाली क्रियाओं तक ही सीमित था। किन्तु अब ठोस नोदक राकेट के दहन से संबंधित सभी क्रियाओं के लिए इस शब्द का सामान्य ढंग से प्रयोग किया जाता है। ठोस नोदक की ज्वलन दर, ज्वलित पृष्ठ में होते हुए परिवर्तन, गैस के दाब व ताप पर प्रभाव आदि विषयों का अध्ययन राकेट की आंतरिक

प्राक्षेपिकी के अंतर्गत ही आता है। इनसे संबंधित मुख्य-मुख्य विषयों का परिचय नीचे दिया गया है।

ज्वलन दर नियम

ज्वलन के समय जिस दर से नोदक की खपत होती है उसे ज्वलन दर कहते हैं। ठोस नोदक ग्रेन में ज्वाला (Flame) ज्वलित सतह के लम्बवत चलती है। आगे बढ़ने की इस गति को नोदक की ज्वलन दर अथवा ज्वलन-गति कहते हैं। इसे मिमी/सेकण्ड में व्यक्त किया जाता है। ज्वलन दर नोदक का एक विशिष्ट गुण है और इसका मान इसके उन रसायनों पर निर्भर करता है जिनसे नोदक का निर्माण हुआ है। विशेषकर अमोनियम परक्लोरेट के औसत कणों की नाप ज्वलन दर पर बहुत महत्वपूर्ण प्रभाव डालती है। कभी-कभी इसकी ज्वलन दर को कम या अधिक करने के लिए ज्वलन-दर परिवर्तक रसायनों को भी मिलाया जाता है। नोदक की ज्वलन दर दहन कक्ष के दाब व नोदक ग्रेन के प्रारंभिक ताप पर भी निर्भर करती है। साधारणतया यदि दाब बढ़ता है तो ज्वलन दर में वृद्धि होती है और यदि यह घटता है तो इसमें कमी आती है। सामान्य नोदक की ज्वलन-दर 5 से लेकर 15 मिमी/सेकेण्ड तक होती है।

इस प्रकार एक नोदक ग्रेन की ज्वलन दर, राकेट के दहन कक्ष के दाब व नोदक के प्रारंभिक ताप के अनुसार घटती-बढ़ती रहती है। ज्वलन-दर पर इनका प्रभाव, नोदक के **ज्वलन दर नियम** से ज्ञात किया जाता है। इस नियम को नीचे दिये गए सूत्र के अनुसार व्यक्त किया जा सकता है:

$$r = ap^n$$

जहाँ r : ज्वलन दर

p : दहन कक्ष दाब

a : स्थिरांक (जो ग्रेन के प्रारंभिक ताप पर निर्भर करता है)

n : ज्वलन दर घातांक (जो नोदक के रसायनों पर निर्भर करता है)

नोदक की ज्वलन-दर स्ट्रैन्ड बर्नर (Strand Burner) की सहायता से ज्ञात की जाती है।

कोई-कोई नोदक ऐसे भी होते हैं जिनकी ज्वलन-दर पर दाब का प्रभाव या तो बिल्कुल नहीं पड़ता है अथवा बहुत ही कम। ऐसे नोदक को पठारी ज्वलन ठोस नोदक Plateau Burning Solid Propellant) कहा जाताहै।

नोदक ग्रेन संरूपण

राकेट द्वारा उत्पन्न बल नोदक के प्रवाह-दर और तुण्ड से निकलती हुई गैस के वेग पर निर्भर करता है। नोदक के प्रवाह से तात्पर्य है नोदक की खपत दर। यदि अधिक ऊँचे बल की आवश्यकता है तो प्रवाह-दर में ही वृद्धि करनी होगी। नोदक का प्रवाह-दर ग्रेन के ज्वलन क्षेत्रफल और ज्वलन-दर पर निर्भर करता है।

$$\dot{w} = Ard$$

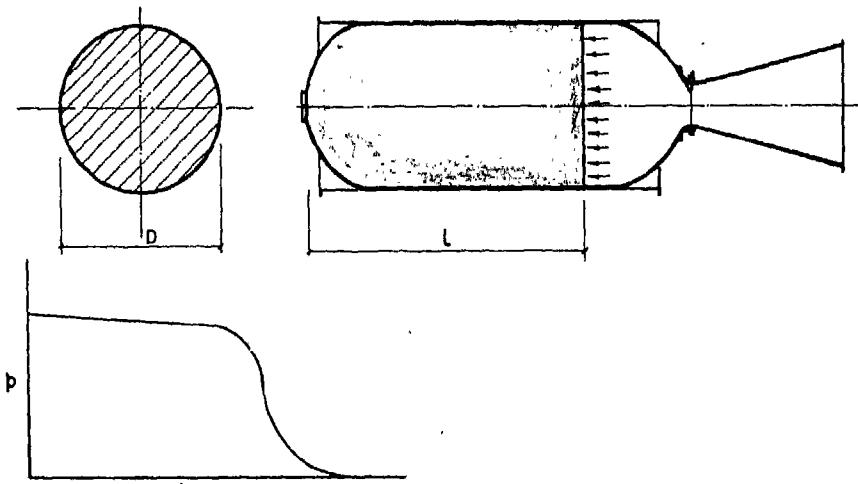
जहाँ $\dot{w}$ = प्रवाह-दर
r = ज्वलन गति
d = नोदक का घनत्व
A = ज्वलन क्षेत्रफल

एक दिए हुए नोदक के लिए r और d दोनों ही निश्चित मान हैं, इनका परिवर्तन करना संभव नहीं है। अतः प्रवाह-दर में परिवर्तन लाने के लिए ज्वलन सतह A को ही परिवर्तित करना पड़ेगा। आवश्यक प्रवाह-दर प्राप्त करने के लिए ग्रेन की यथोचित संरचना की जाती है। नीचे कुछ प्रचलित ग्रेन डिज़ाइनों का विवरण दिया गया है। जिस नोदक सतह पर ज्वलन नहीं चाहिए उसे निरोधी राल से लेपित कर दिया जाता है।

ग्रेन से उत्पन्न दहन कक्ष का दाब ग्रेन के ज्वलन क्षेत्रफल के सीधा समानुपाती होता है। अतः दहन-कक्ष के दाब P व ज्वलन काल T के बीच बनाया ग्राफ, ग्रेन के ज्वलन क्षेत्रफल में परिवर्तन का सूचक है। यदि एक दहन कक्ष का दाब ज्वलन क्रिया के प्रारम्भ होने के क्षण से लगातार बढ़ रहा हो तो इसका तात्पर्य यह है कि उस ग्रेन के ज्वलन क्षेत्रफल में लगातार वृद्धि हो रही है। दाब व ज्वलन काल के बीच बनाये गए ग्राफ को P-T ग्राफ कहते हैं। स्थैतिक जाँच में राकेट द्वारा उत्पन्न

बल भी नापा जाता है और इस बल और ज्वलन काल के बनाए गए ग्राफ को F-T ग्राफ कहते हैं।

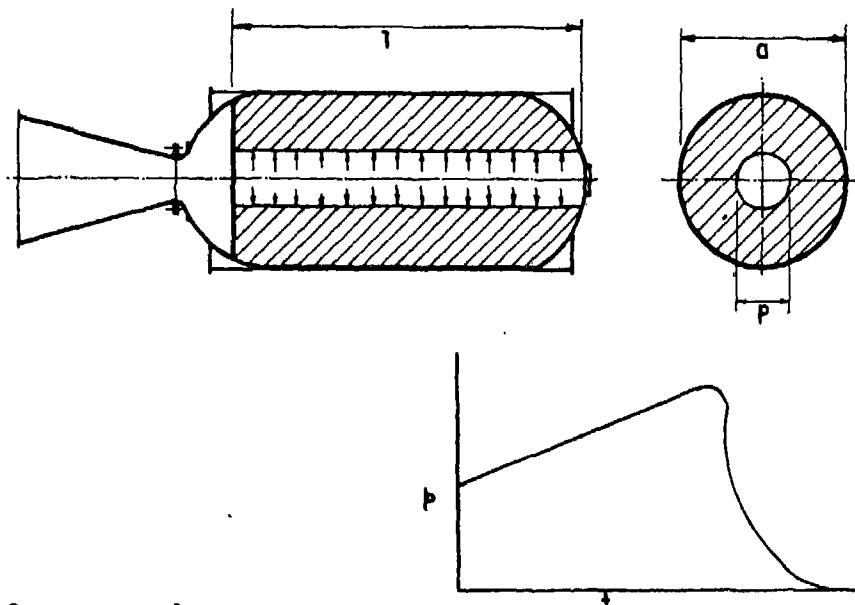
एन्डबर्निंग ग्रेन

यहाँ नोदक ग्रेन एक ठोस बेलन के आकार का होता है। इसका ज्वलन क्षेत्रफल बेलन के एक सिरे के क्षेत्रफल के बराबर है। प्रज्वलन करने पर ज्वाला ग्रेन के एक सिरे से प्रारंभ होती है और दूसरे सिरे तक पहुँचती है। इस प्रकार इसका ज्वलन सिगरेट की भाँति होता है। इस ग्रेन में कोई खोखला

चित्र 17–एन्ड बर्निंग ग्रेन व इसका P-T ग्राफ

स्थान नहीं है अर्थात् ग्रेन पोर्ट रहित है। इस ग्रेन के वाह्य पृष्ठ व दूसरे सिरे को विरोधी राल से लेपित कर दिया जाता है ताकि इन सतहों से ज्वलन क्रिया प्रारंभ न हो। चित्र 17 में ऐसे ही एक नोदक ग्रेन को दिखाया गया है। चूंकि इस प्रकार के ग्रेन में ज्वलन क्षेत्र बहुत सीमित है, इसके द्वारा उत्पन्न बल भी सीमित रहता है। इनका उपयोग गैस जनरेटर अथवा ऐसे राकेट में किया जाता है जहाँ अधिक बल की आवश्यकता नहीं होती है। यहाँ इसका P-T ग्राफ भी चित्रित किया गया है जिससे ज्ञात होता है कि दहन कक्ष का दाब ज्वलनकाल की अवधि में स्थिर रहता है। इस प्रकार की ज्वलन क्रिया को समगामी ज्वलन (Neutral Burning) कहते हैं।

ट्यूब़लर ग्रेन

यहाँ नोदक ग्रेन एक नली के आकार का होता है। इस प्रकार के ग्रेन को बनाने के लिए बेलनाकार मैन्ड्रूल को राकेट केस के अंदर रख कर नोदक घोल भरा जाता है। प्रज्वालन करने पर इसकी ज्वलन पृष्ठ लगातार बढ़ती रहती है। ऐसे ग्रेन का ज्वलन जहाँ ज्वाला क्षेत्र पोर्ट से प्रारम्भ होकर वाह्य पृष्ठ तक पहुँचता है, अरीय ज्वलन (Radial Burning) कहलाता है। एन्डबर्निग ग्रेन को अरीय ज्वलन ग्रेन नहीं कहा जाएगा।

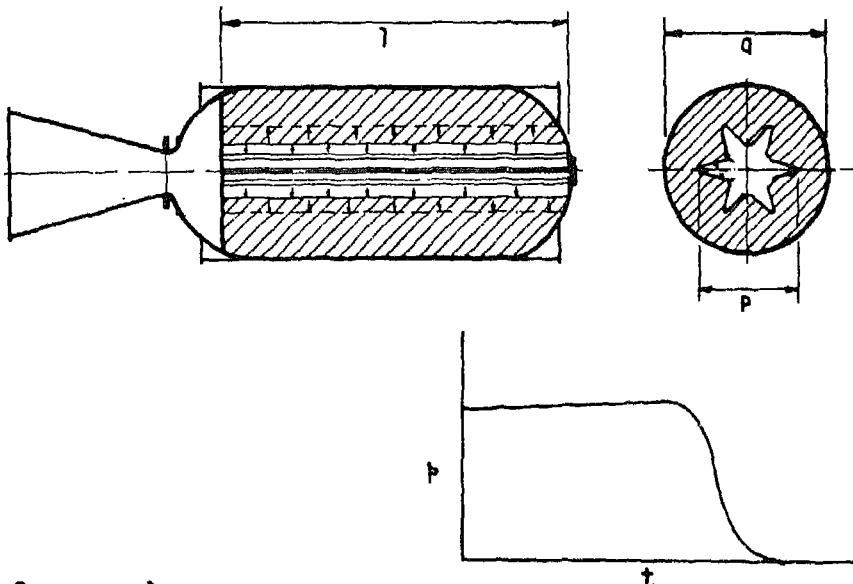
ट्यूबलर ग्रेन के ज्वलन पृष्ठ को चित्र 18 में देखा जा सकता है। इसके P-T ग्राफ से ज्ञात होता है कि ज्वलन पृष्ठ में लगातार वृद्धि हो रही है। दहन-कक्ष में अधिकतम दाब ज्वलन के

चित्र 18–ट्यूबलर ग्रेन व इसका P-T ग्राफ

अंतिम समय में ही पहुँचता है। इस प्रकार के ग्रेन का निर्माण करना सरल है किन्तु इनमें एक कमी यह है कि राकेट मोटर की डिज़ाइन अधितम दाब के अनुसार करने के कारण, मोटर केस का भार बहुत बढ़ जाता है। इस प्रकार के ग्रेन का ज्वलन प्रगामी ज्वलन (Progressive Burning) कहलाता है।

स्टार ग्रेन

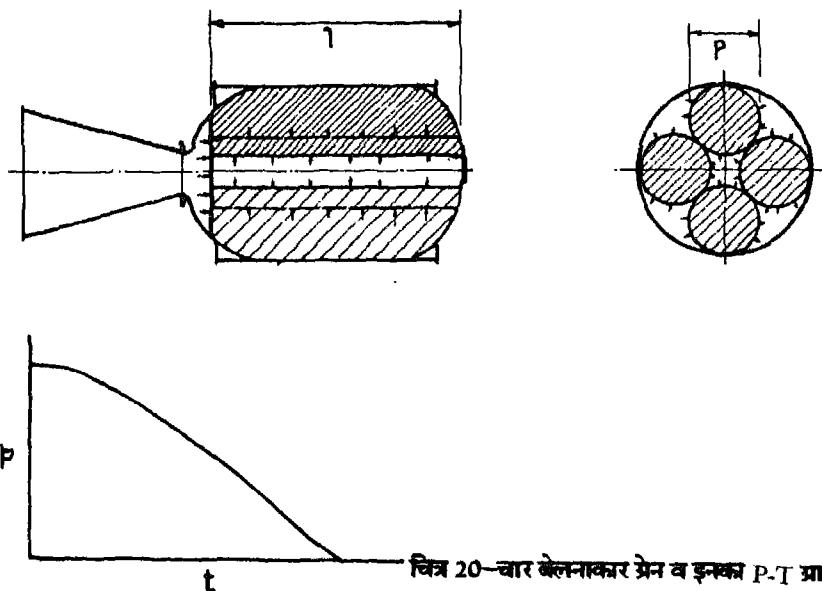
यहाँ नोदक ग्रेन का ईंधन द्वार तारा आकार का होता है। इसको बनाने के लिए इसी आकार के मैन्ड्रूल को नोदक ग्रेन बनाने के समय राकेट केस के अंदर रखा जाता है। तारे को डिज़ाइन करते समय इसका ध्यान रखा जाता है कि इस तारे का परिमाप (Perimeter) ग्रेन के बाहरी परिमाप के लगभग बराबर रहे। इससे प्रारम्भिक ज्वलन क्षेत्र और अंतिम ज्वलन क्षेत्र लगभग बराबर रहते हैं। ज्वलन के दौरान तारे का आकर लगातार बड़ा होता जाता है और धीरे-धीरे यह ग्रेन के बाहरी वृत के बराबर हो जाता है। इस प्रकार के ग्रेन का ग्राफ लगभग समगामी रहता है। चित्रसंख्या 19 में इस प्रकार के ग्रेन और इसके P-T ग्राफ को दिखाया गया है। इस तरह के ग्रेन डिज़ाइन से यथेष्ट ज्वलन क्षेत्र प्राप्त होता है और साथ ही राकेट केस का अधिकतम भाग नोदक भरने के काम आता है। यहाँ राकेट केस की दीवार की मोटाई भी इष्टतम (Optimum) होती है।

बेलनाकार ग्रेन

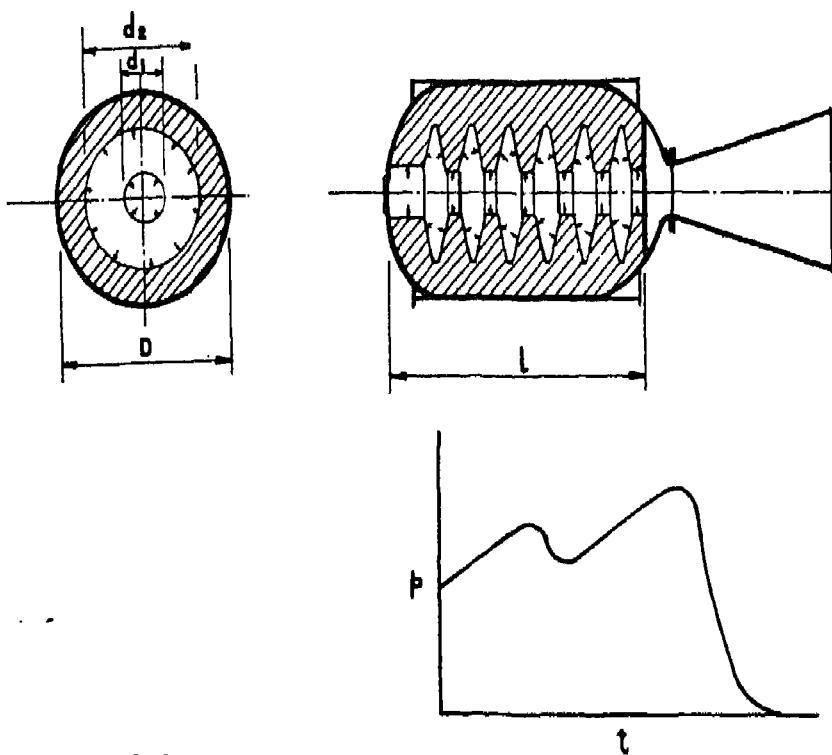
यह ग्रेन साधारणतया गोल बेलन के समान होता है। इसका निर्माण भी एण्ड बर्निंग ग्रेन की तरह किया जाता है। यहाँ ग्रेन के दोनों सिरों एवं बेलनाकार सतह सभी जगह से ज्वलन क्रिया प्रारम्भ होती है। इस प्रकार के ग्रेन का उपयोग ऐसे राकेट मोटर के लिए किया जाता है जहाँ बहुत उच्च बल की आवश्यकता कुछ ही समय के लिए चाहिए। उदाहरण के रूप में बूस्टर राकेट मोटर के लिए ऐसे कई ग्रेनों को राकेट केस के अंदर रखकर प्रज्वलित किया जाता है। चित्र 20 में ऐसे ही एक राकेट मोटर को दिखाया गया है। यहाँ ज्वलन क्षेत्र बड़ी तेज़ी से कम होने लगता है। अतः

चित्र 19—स्टार ग्रेन व इसका P-T ग्राफ

दाब में कमी जल्दी आती है। इसके P-T ग्राफ को भी इसी चित्र के साथ देखा जा सकता है। इस प्रकार के ज्वलन को जहाँ दाब कम होता जाता है, पश्च्गामी ज्वलन (Regressive Burning) कहा जाता है।

स्लाटेड ग्रेन

एक राकेट मोटर में नोदक ग्रेन की डिज़ाइन इस प्रकार की जाती है कि इसके अंदर अधिक से अधिक नोदक की मात्रा भरी जा सके। इसके लिए एण्ड बर्निंग व ठोस बेलनाकार ग्रेन आदर्श ग्रेन हैं। किन्तु एण्ड बर्निंग से उत्पन्न बल की मात्रा यथेष्ट नहीं होती है। बेलनाकार ग्रेन का ज्वलन पश्चगामी होने के कारण दहन कक्ष के दाब में बहुत अधिक परिवर्तन होता है और इस कारण राकेट

चित्र 20—चार बेलनाकार ग्रेन व इनका P-T ग्राफ

केस की डिज़ाइन इष्टतम नहीं होती है। इस प्रकार ये दोनो ही ग्रेन डिज़ाइन एक अच्छे राकेट के उपयुक्त नहीं हैं। उपग्रह को अंतरिक्ष में भेजने वाले यान के ऊपरी खण्ड वाले राकेट के लिए यह अत्यावश्यक है कि इसके अन्य अंगों का भार कम से कम हो और नोदक की अधिक से अधिक मात्रा इसके अन्दर भरी जा सके। इसके लिए यह भी आवश्यक है कि राकेट केस के आयतन का अधिकतम उपयोग किया जाए। अतः नोदक ग्रेन का ईंधन पोर्ट कम से कम आयतन का होना चाहिए।

इस प्रकार के ग्रेन की डिज़ाइन में पोर्ट को बेलन के आकार में रखते हुए ज्वलन क्षेत्र को बढ़ाने का प्रयास किया जाता है। बेलनाकार पोर्ट बहुत कम व्यास का बनाया जाता है ताकि इसके द्वारा राकेट केस के आयतन की हानि कम से कम हो। ज्वलन क्षेत्र में वृद्धि करने के लिए ग्रेन के पोर्ट में त्रिज्जीय खाँचे बनाए जाते हैं। इस प्रकार के ग्रेन को चित्र 21 में दिखाया गया है। त्रिज्जीय

चित्र 21–स्लाटेड ग्रेन व इसका P-T ग्राफ

खाँचें बनाने के लिए एक विशेष मशीन का उपयोग किया जाता है। इस प्रकार के ग्रेन का ज्वलन कुछ सीमा तक प्रगामी ज्वलन है। किन्तु यह वृद्धि बहुत सीमित है। इसके P-T ग्राफ में अधिकतम दाब के दो शिखर देखे जा सकते हैं।

□□

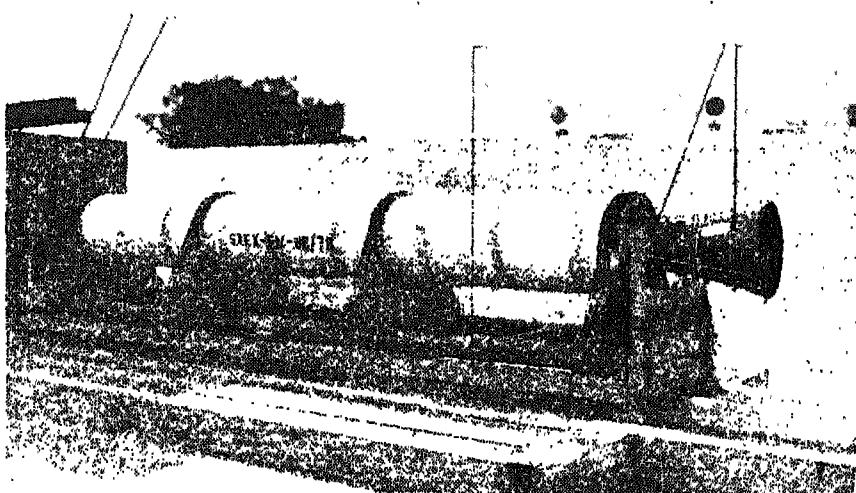
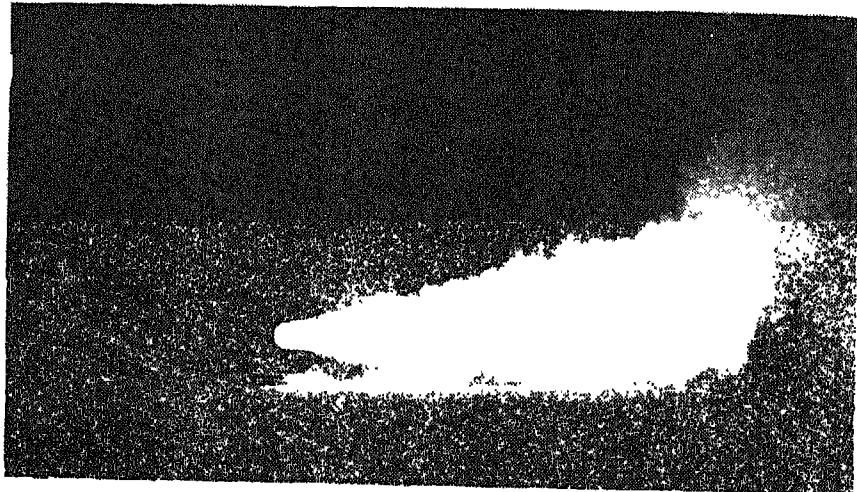
6
ठोस नोदक राकेट का योग्यता परीक्षण

श्वेता और उसके सहपाठी राकेट के विभिन्न अंगों से परिचित होने के बाद आगे क्या किया जाता है। जानने के लिए और अधिक उत्सुक हो गए। राकेट में नोदक ग्रेन भरने के पश्चात् तुण्ड लगा दिया जाए तो क्या एक प्रज्वालक तंत्र की सहायता से अब इसे उड़ने के लिए छोड़ा नहीं जा सकता? इस प्रकार के अनेक प्रश्नों के समाधान हेतु वे पुनः अपने विज्ञान के अध्यापक के सम्मुख पहुँचे। राकेट की उड़ान के पहले और क्या-क्या करना आवश्यक है, यह समझाते हुए अध्यापक ने उन्हें बताया कि बड़े-बड़े राकेटों की उड़ान योजना बहुत विचार-विमर्श के बाद ही बनाई जाती है। इस प्रकार की योजना को क्रियान्वित करने के लिए बहुत अधिक परिश्रम व धन की आवश्यकता होती है। राकेट की उड़ान असफल नहीं होनी चाहिए, क्योंकि इससे न केवल धन बल्कि जान-माल की भी हानि हो सकती है। यदि उड़ान के दौरान कोई राकेट असफल हो गया तो इसके जलते हुए टुकड़े पृथ्वी पर गिरकर कठिन समस्या उत्पन्न कर सकते हैं। अतः राकेट को उड़ाने योग्य सिद्ध करने के लिए अनेक परीक्षण किए जाते हैं। इनमें से एक मुख्य परीक्षण है—स्थैतिक जाँच। यहाँ राकेट को भूस्थित जाँच-बेंच में बांधकर प्रज्वलित किया जाता है। इससे राकेट के निष्पादन व सही ढंग पर काम करने की क्षमता का ज्ञान होता है।

उड़ान के समय राकेट को अनेक प्रकार की बाहरी शक्तियों का सामना करना पड़ता है। इनमें से कम्पन (Vibration), आघात (Impact-Shock), त्वरण (Acceleration) आदि सम्मिलित हैं। इनके अतिरिक्त उड़ाने अथवा संचय के दौरान

राकेट मोटर को उच्च एवं निम्न ताप से गुजरना पड़ता है। इन सभी अवस्थाओं में राकेट मोटर की सफलता पर पूरा विश्वास रहना चाहिए। इसलिए यह आवश्यक है कि उड़ान के पहले मोटर की उपरोक्त अवस्थाओं में भली भाँति जाँच कर ली जाये। साथ ही राकेट की ऊर्जा उत्पन्न करने की क्षमता, ज्वलन काल, दहन कक्ष दाब आदि को भी स्थैतिक परीक्षण द्वारा ज्ञात करना आवश्यक है। इन सभी परीक्षणों को राकेट मोटर की योग्यता जाँच कहते हैं। इनमें से मुख्य-मुख्य जाँचों का संक्षिप्त विवरण नीचे दिया गया है:

(1) स्थैतिक जाँच (Static Test)

यहाँ राकेट मोटर को क्षैतिज अथवा उध्र्वाधर अवस्था में रखकर प्रज्वलित किया जाता है तथा दाब, प्रणोद, ज्वलन-काल आदि को विभिन्न यंत्रों द्वारा नापा जाता है। चित्र 22 में एक राकेट

चित्र 22–स्थैतिक जाँच बेंच पर स्थापित राकेट मोटर

चित्र 23–राकेट मोटर का स्थैतिक परीक्षण

मोटर की जाँच-बेंच (Test-bench) के ऊपर स्थापित दिखाया गया है। यह राकेट मोटर तुण्ड व प्रज्वालक तंत्र से युक्त "**फायरिंग**" के लिए तैयार है। दाब, प्रणोद, ताप आदि मापन हेतु अनेक यंत्रों को राकेट से संयुक्त किया गया है। चित्र 23 में यही राकेट मोटर फायरिंग की स्थिति में है। इसमें राकेट की प्रचण्ड ज्वाला को स्पष्टतः देखा जा सकता है। परीक्षण के समय उत्पन्न दाब, प्रणोद आदि को अंकित किया जाता है। प्रणोद व ज्वलन काल के ग्राफ से प्रणोद, कुल आवेग और विशिष्ट आवेग की गणना की जाती है। इस ग्राफ से यह भी ज्ञात होता है कि ग्रेन के पोर्ट की रचना के कारण इसका ज्वलन समगामी, प्रगामी अथवा पश्चगामी है। प्रणोद, आवेग, समगामी आदि शब्दों की व्याख्या "**आंतरिक प्राक्षेपिकी**" और "**राकेट नोदक**" अध्यायों में की गई है।

(2) प्रचक्रण जाँच (Spin Test)

किसी-किसी राकेट मोटर को नियंत्रण तंत्र से युक्त न करके केवल प्रचक्रण तंत्र द्वारा नियंत्रित किया

जाता है। प्रायः यह देखा गया कि तेजी से प्रचक्रण करते हुए राकेट मोटर के नोदक की ज्वलन-गति सामान्य गति से अधिक हो जाती है। अतः ऐसे राकेट मोटर का भूस्थित प्रचक्रण करते हुए स्थैतिक परीक्षण करना आवश्यक है ताकि नोदक ग्रेन की इस अवस्था में ठीक-ठाक ज्वलन दर मालूम की जा सके। इस परीक्षण में राकेट मोटर को अपने अक्ष के चारों ओर तेजी से घूमते हुए एक स्थैतिक बेंच में स्थापित कर प्रज्वलित किया जाता है। इस अवस्था में इसका दाब ज्वलन काल आदि नापे जाते हैं।

(3) त्वरण जाँच (Acceleration Test)

नोदक ग्रेन के ज्वलन के दौरान राकेट का वेग लगातार बढ़ता रहता है। जब नोदक की ज्वलन क्रिया समाप्त होती है तब राकेट की वेगवृद्धि घटकर '-g' हो जाती है। इस प्रकार एक राकेट मोटर को बढ़ते-घटते त्वरण से गुजरना पड़ता है। यह बात विशेष रूप से यान के ऊपरी खण्ड मोटर के लिए महत्त्वपूर्ण है। इस बढ़ते-घटते त्वरण के कारण राकेट मोटर के नोदक ग्रेन में दोष उत्पन्न हो सकते हैं। ग्रेन का राकेट केस के बंधन से अलगाव और ग्रेन के अंदर दरार आना आदि ऐसे दोष हैं जिनके उत्पन्न होने से राकेट मोटर उड़ान में असफल हो सकता है। योग्यता परीक्षण के समय राकेटों में ऐसे दोष पाये जाने पर इनके डिजाइन पर पुनः विचार किया जाता है। जाँच के लिए राकेट को त्वरण बेंच की भुजा पर स्थापित कर तेजी से घुमाया जाता है।

(4) कंपन जाँच (Vibration Test)

अंतरिक्ष यान के राकेट को उड़ान के समय विभिन्न स्थितियों से उत्पन्न कंपनों का सामना करना पड़ता है। इन कंपनों के कई कारण हो सकते हैं जैसे कि परिसीमा स्तर प्रक्षोभ (Boundary Layer Turbulence), ध्वानिक रव (Acoustic Noise), वायुमण्डलीय झोंका (Atmospheric Gust) आदि। इनके कारण नोदक ग्रेन में दरार, अलगाव जैसे दोष उत्पन्न हो सकते हैं। इस कारण भूस्थित परीक्षण द्वारा पहले ही इन कम्पनों का प्रभाव ज्ञात कर लिया जाता है। यह परीक्षण राकेट को एक कंपन टेबुल (Vibration Table) के ऊपर स्थापित करके किया जाता है। इस यंत्र में कंपन की आवृति (Frequency) व आयाम (Amplitude) आवश्यकतानुसार चुने जा सकते हैं।

(5) उच्च तुंगता जाँच (High Altitude Test)

अंतरिक्ष यान के ऊपरी खण्ड राकेट मोटर को निर्वातीय वायुमण्डल (Vacuum) में प्रज्वलित किया जाता है। राकेट की सफलतापूर्वक उड़ान के लिए यह आवश्यक है कि मोटर की योग्यता परीक्षण निर्वात की अवस्था में भी संतोषजनक हो। यह जाँच भूस्थित एक निर्वात कक्ष में की जाती है जिसे उच्च तुंगता परीक्षण कक्ष (High Altitude Test Chamber) कहते हैं। इस कक्ष के अंदर एक स्थैतिक बेंच होती है। इसी बेंच के ऊपर राकेट को बाँध दिया जाता है। कक्ष में निर्वात अवस्था स्थापित करने के बाद राकेट को प्रज्वलित करते हैं और ज्वलन के दौरान राकेट से उत्पन्न गैस को शक्तिशाली पंप द्वारा बाहर निकालते रहते हैं ताकि परीक्षण कक्ष के अंदर निर्वात-अवस्था बराबर बनी रहे। इस जाँच से निर्वात अवस्था में राकेट से उत्पन्न ऊर्जा का सही-सही मान मालूम पड़ जाता है।

□□

7
राकेट नोदन

श्वेता व अन्य सहपाठियों की वाद-विवाद जोरों से चल रही थीं। उनकी आज की चर्चा का विषय था: राकेट के वैज्ञानिक मूल आधार। यह तो उन्हें मालूम ही था कि राकेट को उड़ने के लिए आवश्यक ऊर्जा, इसी के नोदक के जलने से प्राप्त होती है। नोदक के ज्वलन से जो गर्म गैसें उत्पन्न होती है वह तुण्ड से बाहर निकलते समय अपनी ऊष्मा ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में बदल लेती है। किन्तु इस गतिज ऊर्जा से राकेट को क्या लाभ? यह तो भागती हुई गैस की अपनी स्वयं की ऊर्जा है। तब राकेट को ऊर्जा किस प्रकार प्राप्त होती है? इन प्रश्नों के अतिरिक्त उन्होंने राकेट से संबंधित बहुत से नए-नए शब्द भी सुन रखे थे, जैसे कि विशिष्ट आवेग, नोदन, प्रणोद, नोदक द्रव्यमान, आदि आदि जिनसे वे बिल्कुल अपरिचित थे। इन्हीं सब शंकाओं का समाधान वे जल्दी से जल्दी प्राप्त करना चाहते थे। किन्तु आज छुट्टी का दिन था। रविवार। काफी विचार-विमर्श के बाद उनकी टोली अपने विज्ञान के अध्यापक महोदय के घर ही जा धमकी। राकेट में अपने छात्रों की इतनी अधिक रुचि देखकर वे मन ही मन मुस्कराए और राकेट विज्ञान के मूल आधार समझाने लगे। विज्ञान के ये मूल आधार ठोस नोदक राकेट व द्रव नोदक राकेट दोनों ही के लिए एक समान से लागू होते हैं। इन्हीं की व्याख्या व राकेट से संबंधित नए-नए शब्दों का परिचय नीचे दिया गया है।

आइज़क न्यूटन ने गति के तीन नियम निकाले थे। उनमें से तीसरे नियम के अनुसार हर क्रिया की बराबर और विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है। अर्थात् यदि किसी घटना से कोई बल उत्पन्न

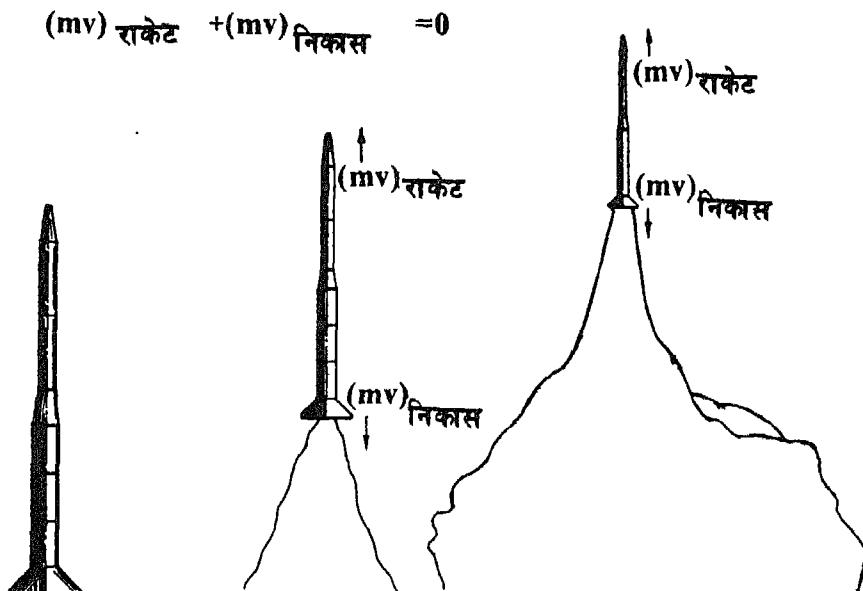
चित्र 24– रायफल का संवेग m_2v_2 गोली के संवेग m_1v_1 के बराबर है।

होता है तो इसके विपरीत दिशा में उसी बल के बराबर प्रतिक्रिया बल भी उत्पन्न होगा। उदाहरण के रूप में जब राइफल से गोली छोड़ी जाती है तो राइफल चलाने वाले को उतने ही बल का पीछे की ओर धक्का लगता है। इस घटना में रायफल व गोली के संवेग बराबर रहते है। यह संवेग संरक्षण (Conservation of Momentum) के नियम के अनुसार होता है। संवेग से तात्पर्य है–पिंड की मात्रा व इसके वेग का गुणनफल। इस क्रिया को चित्र 24 में दिखाया गया है।

गोली का द्रव्यमान = m_1
गोली का वेग = v_1
रायफल का द्रव्यमान = m_2
रायफल का वेग = v_2

$$m_1v_1 = m_2v_2$$

अर्थात् गोली का संवेग = रायफल का संवेग

इसी सिद्धांत पर राकेट भी काम करता है। जब तक राकेट प्रमोचन मंच पर रहता है इसका कुल संवेग शून्य होता है। प्रमोचन मंच राकेट का "स्टैन्ड" है। इसी के ऊपर राकेट को उड़ाने के पहले स्थापित किया जाता है। प्रज्वालन क्रिया प्रारंभ होने पर यह मंच को छोड़ कर ऊपर उठता है। इस क्रिया को प्रमोचन (Launching) कहते हैं। ज्वलन क्रिया के प्रारंभ होने पर गर्म गैस की धार राकेट के तुण्ड से बाहर निकलने लगती है। तब गैस के संवेग को बराबर करने के लिए राकेट ऊपर उठना प्रारंभ कर देता है। यह बात ध्यान देने लायक है कि राकेट प्रमोचन मंच अथवा वायु या

चित्र 25–राकेट में संवेग संरक्षण नियम का पालन

अन्य किसी वस्तु के धक्का देने से नहीं उठता है। सच तो यह है कि राकेट निर्वात अवस्था में जहाँ वायु भी न हो श्रेष्ठतम नतीजे देता है। चित्र 25 में एक राकेट का लाँच पैड पर और लाँच पैड को छोड़ने के बाद संवेग का मान दिखाया गया है। राकेट व निकलती हुई गैस के संवेग का योग प्रारंभ में शून्य रहता है। किन्तु उड़ान के दौरान पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण व वायुमण्डल की वायु से उत्पन्न घर्षण बल इसके कुल संवेग मान में परिवर्तन करते हैं।

राकेट के अंदर भरे गए नोदक (Propellant) के जलने से राकेट व निकलती हुई गैस को ऊर्जा प्राप्त होती है। नोदक एक निश्चित दर से दहन कक्ष के अंदर जलता है। इस प्रकार नोदक से गैस का उत्पादन और इसका तुण्ड से निकास काफी समय तक जारी रहता है अर्थात् यह घटना क्षणिक नहीं है। इस कारण निकलती गैस के संवेग का कुछ अंश नोदक के बिना जले भाग

को भी राकेट के साथ धक्का देने में व्यय हो जाता है तथा यह ''**कार्य**'' व्यर्थ जाता है। इस बात को ध्यान में रखते हुए यह कहा जा सकता है कि राकेट का वेग निकलती हुई गैस के वेग के सीधा समानुपाती नहीं होता है। बल्कि यह वेग राकेट के प्रारम्भिक भार व ज्वलन के उपरांत वाले भार की तुलना पर निर्भर करता है। एक आधुनिक राकेट जिसमें निकलने वाली गैस की गति 3,000 मी/सेकेण्ड है और जिसमें 75% राकेट के कुल भार का नोदक भार है, उड़ान के दौरान लगभग 4,000 मी/सेकेण्ड की गति प्राप्त कर लेता है। और अधिक गति प्राप्त करने के लिए दो या अधिक राकेटों को एक के ऊपर एक रखकर संलग्न किया जाता है। इस प्रकार के जोड़े गए राकेटों से बने यान को बहुपदी राकेट (Multi Stage Rocket) भी कहते हैं। सबसे नीचे वाले राकेट को प्रथम-पद राकेट (First Stage Rocket) और इसके ऊपर वाले को द्वितीय पद राकेट (Second Stage Rocket) कहा जाता है। प्रथम-पद राकेट अन्य पदों के राकेट से बड़ा होता है। इस राकेट का प्रदायभार इसके ऊपर वाले शेष सभी पदों के राकेटों के कुल भार के बराबर होता है। जब प्रथम-पद राकेट का नोदक जलकर समाप्त हो जाता है तब यह राकेट अन्य राकेटों से अलग होकर नीचे गिर जाता है। साथ ही द्वितीय-पद राकेट की ज्वलन क्रिया प्रारंभ हो जाती है। इसके जलने और अलग होने के उपरांत अगले पद का राकेट यही क्रिया दोहराता है। और इस प्रकार यह क्रिया यान (Vehicle) के अंतिम पद तक चलती रहती है।

राकेट नोदन विज्ञान की ही एक शाखा है। नोदन प्रणाली में ऐसे आधार-भूत नियम नहीं हैं जो केवल इसी के लिए बने हैं । भौतिक शास्त्र, रसायन शास्त्र आदि के ही प्राथमिक नियम यहाँ पर भी लागू होते हैं। नोदन प्रणाली से संबंधित मुख्य शब्दों की व्याख्या नीचे दी जा रही है–

विशिष्ट आवेग (Specific Impulse)

यह एक राकेट के निष्पादन का द्योतक है।इससे नोदक की ऊर्जा का ज्ञान होता है। नोदक का विशिष्ट आवेग नोदक के रासायनिक सूत्र पर और साथ ही राकेट मोटर की डिजाइन पर निर्भर करता है। इसे I_{sp} से नामांकित किया जाता है। इसकी इकाई सेकेण्ड है। यह उस बल अथवा प्रणोद (Thrust) के बराबर है जो एक समतुल्य राकेट से उत्पन्न होता और जिसमें नोदक का प्रवाह दर एक किग्रा/सेकेण्ड है।

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{w}} \quad \text{.................................} \quad (1)$$

और $$I_{sp} = \frac{c}{g} \quad \text{.................................} \quad (2)$$

अथवा $$c = \frac{Fg}{\dot{w}} \quad \text{.................................} \quad (3)$$

I_{sp} = विशिष्ट आवेग (सेकेण्ड)
F = बल, जिसे प्रणोद (Thrust) भी कहा जाता है
w = नोदक का प्रवाह-दर
c = प्रभावी रेचन वेग (तुण्ड से निकलने वाली गैस का वेग) (Effective Exhaust Velocity)
g = गुरुत्वाकर्षण वेगवृद्धि

कुल आवेग (Total Impulse)

इसे I_t से नामांकित किया जाता है। इसका परिमाण नोदक ग्रेन से उत्पन्न कुल ऊर्जा के बराबर होता है। इसका मान निकालने के लिए राकेट से उत्पन्न प्रणोद का नोदक ग्रेन के ज्वलन काल 't' के ऊपर समाकलन (Integration) किया जाता है।

$$I_t = \int_{t=o}^{t=t} F\,dt \quad \text{.................................} \quad (4)$$

$$= \int_{t=o}^{t=t} I_{sp}\,\dot{w}\,dt \quad \text{.................................} \quad (5)$$

यदि ज्वलन काल के दौरान F का मान स्थिर रहता है तो

$$I_t = F.t \quad \text{..................} \quad \text{............} \quad (6)$$

$$= I_{sp}.w \quad \text{..................} \quad \text{............} \quad (7)$$

जहाँ w = नोदक का कुल भार

विशिष्ट नोदक खपत (Specific Propellant Consumption)

इस पैरामीटर से यूनिट प्रणोद उत्पन्न करने के लिए नोदक के प्रवाह-दर (Flow Rate) का ज्ञान होता है। इसका मान विशिष्ट आवेग के व्युत्क्रम (Inverse) के बराबर होता है।

$$\text{विशिष्ट नोदक खपत} = \frac{1}{I_{sp}} \quad \text{.........} \quad \text{.......} \quad (8)$$

$$= \frac{\dot{w}}{F} \quad \text{.........} \quad \text{........} \quad (9)$$

द्रव्यमान अनुपात (Mass Ratio)

राकेट के निष्पादन का एक अच्छा सूचक है–द्रव्यमान अनुपात। इसे MR से नामांकित किया जाता है। यह राकेट के अंतिम द्रव्यमान (पूर्ण नोदक के ज्वलन के उपरांत) और प्रारम्भिक द्रव्यमान (ज्वलन प्रारंभ होने के पहले) के अनुपात के बराबर होता है।

$$MR = \frac{m_f}{m_o} \quad \text{........} \quad \text{........} \quad (10)$$

जहाँ m_o = राकेट का प्रारम्भिक द्रव्यमान

m_f = राकेट का अंतिम द्रव्यमान

नोदक द्रव्यमान अंश (Propellant Mass Fraction)

एक राकेट की अच्छी उड़ान के लिए यह आवश्यक है कि इसमें नोदक के अतिरिक्त अन्य भागों

का भार कम से कम रहे। अर्थात् दिए गए राकेट के अंदर अधिक से अधिक नोदक की मात्रा हो और ऐसे भाग जो ज्वलन क्रिया में सीधे भाग नहीं लेते कम से कम हों। ऐसे भागों के उदाहरण हैं रोधन-खोल, तुण्ड, राकेट केस, प्रज्चालक तंत्र आदि। नोदक द्रव्यमान अंश एक राकेट प्रणाली के इसी गुण का सूचक है। इसे MP से नामांकित किया जाता है।

$$MP = \frac{m_p}{m_o}$$

जहाँ m_p = नोदक का द्रव्यमान

m_o = राकेट का प्रारम्भिक द्रव्यमान

यहाँ यह ध्यान देने की बात है कि राकेट के निष्पादन से सीधा संबंधित न होने वाले यान के अन्य भागों का द्रव्यमान m_o में शामिल नहीं है। इनके उदाहरण हैं पृथक्करण तंत्र (Separation System), नियंत्रण तंत्र (Control System), विनाश-तंत्र (Destruct System), टेलीमीटरी (Telemetry), आदि।

आवेग-भार अनुपात (Impulse to Weight Ratio)

राकेट मोटर द्वारा उत्पन्न कुल आवेग एवं इसके प्रारम्भिक भार के अनुपात को आवेग-भार अनुपात कहते हैं।

$$\frac{I_t}{w_o} = \frac{I_{sp} \cdot t}{(m_f + m_p)g} \quad \text{..............} (12)$$

$$= \frac{I_{sp}}{\frac{m_f \cdot g}{t} + m_p \cdot g} \quad \text{................} (13)$$

जहाँ $\frac{I_t}{w_o}$ = आवेग-भार अनुपात

t = ज्वलन काल

I_t = कुल आवेग

w_o = राकेट का प्रारम्भिक भार

विशिष्ट शक्ति (Specific Power)

यह पैरामीटर राकेट से उत्पन्न गैस धार की गतिज ऊर्जा का द्योतक है। इसे P_s से नामांकित किया जाता है।

$$P_S = \frac{\frac{1}{2}\dot{m}v^2}{w_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

$$= \frac{\dot{m} I_{sp}^2 g}{2w_o}$$

$$= \frac{(\dot{m}g)(I_{sp})^2 (g)}{2w_o}$$

$$= \frac{\dot{w}_o (I_{sp})^2 (g)}{2w_o}$$

$$= \frac{\dot{w}_o I_{sp} I_{sp} g}{2w_o}$$

$$= \frac{F I_{sp} g}{2w_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

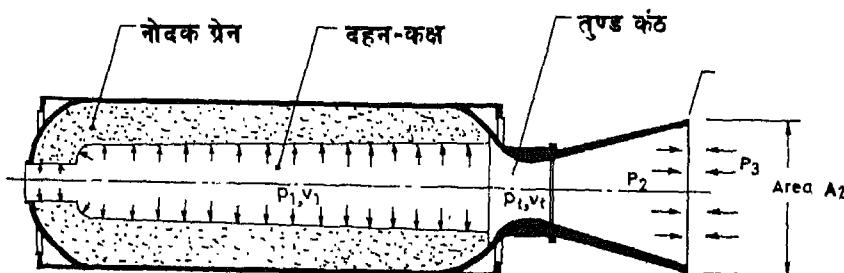
प्रणोद (Thrust)

नोदक की ज्वलन क्रिया प्रारम्भ होते ही तुण्ड से गर्म गैस की धार बड़ी तेजी से बाहर निकलती है। इसके कारण राकेट में विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है। इसी प्रतिक्रिया बल को राकेट का प्रणोद कहा जाता है।

उड़ान के दौरान वायुमण्डलीय दाब का भी राकेट के ऊपर प्रभाव पड़ता है। चित्र 26 में दिखलाये गये राकेट के दहन कक्ष का दाब P_1 है और निकलती हुई गैस का रेचक दाब P_2 यदि वायुमण्डलीय दाब P_3 हो तो राकेट के निर्गम खण्ड (Exit Plane) पर $(P_2 - P_3)$ दाब का प्रभाव पड़ेगा। तब राकेट का प्रणोद जो बाहरी बल के बराबर है, इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है

$$F = \dot{m}v_2 + (P_2 - P_3) A_2 \quad \ldots\ldots (16)$$

जहाँ A_2 = निर्गमक्षेत्र.

v_2 = गैस का निर्गम खण्ड पर वेग

चित्र 26—राकेट के दहन कक्ष व तुण्ड पर दाब

यह प्रणोद दो संख्याओं का योग है। प्रथम संख्या संवेग-प्रणोद है और दूसरी संख्या दाब-प्रणोद। संवेग-प्रणोद नोदक द्रव्यमान का प्रवाह-दर और रेचन वेग के गुणनखण्ड के बराबर है। उसी प्रकार दाब प्रणोद निर्गम क्षेत्र तथा रेचन दाब और वायुमण्डलीय दाब के अंतर का

गुणनफल है। यदि रेचन दाब वायुमण्डलीय दाब से कम हुआ तो दाब-प्रणोद ऋण में होगा। इसके कारण राकेट के कुल प्रणोद में कमी हो जायेगी जो कि आपत्तिजनक है। इससे बचने के लिए तुण्ड की डिजाइन इस प्रकार की जाती है कि रेचन दाब वायुमण्डलीय दाब से थोड़ा ऊपर रहे अथवा इसके बराबर।

जब रेचन दाब वायुमण्डलीय दाब के बराबर होता है तो दाब-प्रणोद का मान शून्य हो जाता है। इस स्थिति में एक नोदक से अधिकतम प्रणोद प्राप्त होता है। इस प्रकार के डिजाइन किए गये तुण्ड को इष्टतम प्रसरण अनुपात (Optimum Expansion Ratio) वाला तुण्ड कहा जाता है।

$$F = \dot{m}\, v_2$$

$$= \left(\frac{\dot{w}}{g}\right) v_2$$

$$= \dot{w}\, I_{sp}$$

जैसे-जैसे राकेट की ऊँचाई पृथ्वी से बढ़ती जाती है, वायुमण्डलीय दाब में कमी होने लगती है। इस कारण दाब-प्रणोद में परिवर्तन होता है तथा ऊँचाई के कारण राकेट के कुल प्रणोद में भी महत्त्वपूर्ण परिवर्तन होता है। यह मान 10 से लेकर 30 प्रतिशत तक हो सकता है।

प्रभावी रेचन वेग (Effective Exhaust Velocity)

यह तुण्ड से बाहर निकलती गैस का निर्गम खण्ड पर वेग है। इसे c से नामांकित किया जाता है।

$$c = \frac{Fg}{\dot{w}} \qquad \text{(समीकरण 3)}$$

यह संबंध उन सभी अवस्थाओं पर लागू होता है जहाँ गैस की धार ऊष्मागतिकी (Thermodynamics) नियम के अनुसार तुण्ड द्वारा प्रसारित होती है।

$$F = \dot{m}\, v_2 + (P_2 - P_3)\, A_2 \qquad \text{(समीकरण 16)}$$

$$c = \dot{m}\, v_2 \frac{g}{\dot{w}} + \frac{g}{\dot{w}} (P_2 - P_3) A_2 \qquad \text{(समीकरण 3 व 16)}$$

$$= v_2 + \frac{(P_2 - P_3)\, A_2\, g}{\dot{w}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \ (17)$$

प्रभावी रेचन वेग c को प्रणोद और नोदक दर के मान से ज्ञात करते हैं। यदि रेचन दाब और वायुमण्डलीय दाब बराबर हों तो यह वेग v_2 के बराबर होता है।

ऊष्मागतिक संबंधी नियम (Thermodynamic Relations)

एक नये राकेट की डिजाइन प्रारम्भ करने के पहले एक आदर्श राकेट की कल्पना की जाती है। फिर इसमें वास्तविक स्थितियों का समाकलन किया जाता है। एक आदर्श राकेट निम्नलिखित प्रतिबंधों का पालन करता है।

(1) नोदक ज्वलन से उत्पन्न पदार्थ राकेट के समस्त क्षेत्र में एक से होते हैं।
(2) ये पदार्थ (गर्म गैस) आदर्श गैस नियम का अनुसरण करते हैं।
(3) राकेट प्रणाली में कोई घर्षण संबंधी स्थिति नहीं होती है।
(4) राकेट की दीवारों से ऊष्मास्थानान्तरण नहीं होता है अतः यह रुद्धोष्म (Adiabatic) नियम का पालन करता है।
(5) नोदक प्रवाह नियमित और स्थिर रहता है।
(6) तुण्ड से निकलती गैस धार अक्ष राकेट मोटर के अक्ष से गुजरती है।
(7) गैस का वेग, दाब व घनत्व तुण्ड के एक काट (Section) पर एक समान रहते हैं।
(8) रासायनिक संतुलन (Chemical Equilibrium) दहन कक्ष के अंदर ही स्थापित हो जाता है और यह तुण्ड की दिशा में नहीं बढ़ता है।
(9) नोदक ज्वलन से उत्पन्न सभी पदार्थ गैस अवस्था में होते हैं।

ऊपर लिखे गये तथ्यों पर विचार करते हुए दहन कक्ष व तुण्ड की डिजाइन की जाती है। ऊर्जा संरक्षण नियम (Law of Conservation of Energy) के अनुसार एक एडियाबेटिक स्थिति के लिए यह कहा जा सकता है कि एक बिन्दु पर गतिज ऊर्जा व ऊष्मा ऊर्जा का योग स्थिर रहता है। एक बिन्दु पर किसी प्रणाली की एन्थाल्पी (Enthalpy) अर्थात् ऊष्मा ऊर्जा में कमी होती है तो गजित ऊर्जा में इसी कमी के बराबर वृद्धि होगी। एक एडियाबेटिक प्रवाह में x और y दो बिन्दुओं के लिए इस संबंध को निम्न ढंग से व्यक्त किया जा सकता है:

$$h_x + \frac{v_x^2}{2gJ} = h_y + \frac{v_y^2}{2gJ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

अथवा

$$h_x - h_y = \frac{1}{2gJ}(v_y^2 - v_x^2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

जहाँ h_X = x बिन्दु पर प्रवाह की एन्थाल्पी

h_Y = y बिन्दु पर प्रवाह की एन्थाल्पी

v_x = x बिन्दु पर प्रवाह वेग

v_y = y बिन्दु पर प्रवाह वेग

J = मेकेनिकल एक्युवैलेंट आफ हीट (Mechanical Equivalent of Heat)

एक आदर्श गैस के लिए एन्थाल्पी का मान विशिष्ट ऊष्मा C_p और परम ताप (Absolute Temperature) के गुणनफल के बराबर होता है। अतः

$$h_x = C_p \cdot T_x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

$$h_y = C_p \cdot T_y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

अथवा

$$(h_x - h_y) = C_p (T_x - T_y) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

द्रव्यमान संरक्षण नियम (Law of Conservation of Mass) के अनुसार संतुलित अवस्था में प्रवाह के किन्हीं दो बिन्दुओं पर प्रवाह-दर समान रहता है।

$$\dot{w}_x = \frac{A_x v_x}{V_x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

$$\dot{w}_y = \frac{A_y v_y}{V_y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$

$$\dot{w}_x = \dot{w}_y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots (25)$$

अथवा $$\frac{A_x v_x}{V_x} = \frac{A_y v_y}{V_y} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26)$$

जहाँ $\dot{w}_x$ = x बिन्दु पर प्रवाह-दर

$\dot{w}_y$ = y बिन्दु पर प्रवाह-दर

A_x = x बिन्दु पर प्रवाह का अनुप्रस्थ काट क्षेत्र

A_y = y बिन्दु पर प्रवाह का अनुप्रस्थ काट क्षेत्र

V_x = x बिन्दु पर प्रवाह-पदार्थ का विशिष्ट आयतन

V_y = y बिन्दु पर प्रवाह-पदार्थ का विशिष्ट आयतन

गैस नियम के अनुसार आदर्श गैस के लिए यह लिखा जा सकता है:

$$P_x V_x = RT_x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

और $$P_y V_y = RT_y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

$$\frac{C_p}{C_v} = k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

$$C_p - C_v = \frac{R}{J} \qquad \text{.........................} (30)$$

$$C_p = \frac{kR}{(k-1)\,J} \qquad \text{.................} (31)$$

$$(k-1) = \frac{kR}{J\,C_p}$$

$$\frac{T_x}{T_y} = \left(\frac{P_x}{P_y}\right)^{\frac{k-1}{k}} \qquad \text{...........} (32)$$

$$= \left(\frac{V_y}{V_x}\right)^{k-1} \qquad \text{.................} (33)$$

समएन्ट्रापिक (Isoentropic) प्रसार की अवस्था में दाब की कमी होगी, परम ताप घटेगा और विशिष्ट आयतन बढ़ेगा। यदि संपीड्य द्रव (Compressible Fluid) के प्रवाह को समएन्ट्रापिक अवस्था में रोक दिया जाये तो प्रणाली **"प्रगति शून्यता स्थिति"** (Stagnation Condition) में कही जाती है। इस स्थिति के ताप को प्रगति शून्यता ताप (Stagnation Temperature) कहते हैं। इसे T_o से नामांकित किया जाता है। ऊर्जा संरक्षण नियम के अनुसार

$$T_o = T + \frac{v^2}{2gC_p J} \qquad \text{.........................} (34)$$

जहाँ T द्रव-प्रवाह का ताप है। एडियाबेटिक अवस्था में T_o स्थिर रहता है। प्रगति शून्यता स्थिति में समएन्ट्रापिक प्रवाह को इस प्रकार भी लिख सकते हैं:

$$\frac{T_o}{T} = \left(\frac{P_o}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$= \left(\frac{V}{V_o}\right)^{k-1} \qquad \text{.........................} \quad (35)$$

प्रगति शून्यता स्थिति में द्रव की ऊर्जा को **''प्रगति शून्यता ऊर्जा''** (Stagnation Energy) कहते हैं। यह एन्थॉल्पी व गतिज ऊर्जा के योग के बराबर होती है।

माख संख्या (Mach Number)

एक आदर्श गैस में ध्वनि का वेग गैस के दाब से निराश्रित रहता है। यह गैस के ताप व इसकी विशिष्ट ऊष्मा पर निर्भर करता है। गैस के प्रवाह वेग और ध्वनि-वेग के अनुपात को माख संख्या कहते हैं। इन्हें निम्न ढंग से संबंधित किया जा सकता है;

$$a = \sqrt{gkRT} \qquad \text{.........................} \quad (36)$$

जहाँ $k = \frac{C_p}{C_v}$

$$M = \frac{v}{a}$$

$$M = \frac{v}{\sqrt{gkRT}} \qquad \text{.........................} \quad (37)$$

जहाँ C_p, C_v = गैस के विशिष्ट ताप

a = ध्वनि का वेग

M = माख संख्या

v = प्रवाह वेग

R = गैस स्थिरांक

T = परम ताप

माख संख्या की कोई इकाई नहीं होती है। यह प्रवाह वेग और ध्वनि वेग के अनुपात के बराबर होता है। जब माखसंख्या 1 से कम होती है तब प्रवाह वेग को सबसॉनिक (Subsonic) कहा जाता है। जब यह संख्या 1 के बराबर होती है तब प्रवाह-वेग सॉनिक और 1 से बड़ी होने पर सुपरसॉनिक कहलाता है।

प्रगतिशून्यता ताप व माख संख्या के निम्न संबंध लिखे जा सकते हैं:

$$T_o = T + \frac{v^2}{2gC_pJ} \qquad \text{(समीकरण 34)}$$

$$= T + \frac{M^2gkRT}{2g\,C_p\,J} \qquad \text{(समीकरण 37)}$$

$$= T\left[1 + \frac{1}{2}M^2\left(\frac{kR}{C_pJ}\right)\right]$$

$$= T\left[1 + \frac{1}{2}M^2(k-1)\right] \qquad \text{(समीकरण 31)}$$

अथवा

$$M = \sqrt{\frac{2}{k-1}\left(\frac{T_o}{T} - 1\right)}$$

जहाँ

T_o = प्रगति शून्यता ताप

T = प्रवाह ताप

M = प्रवाह की माख संख्या

जब प्रवाह-ऊर्जा समएन्ट्रापिक अवस्था में ऊष्मा-ऊर्जा में बदलती है तब प्रवाह का दाब प्रगति शून्य दाब कहलाता है। इसे P_o से नामांकित किया जाता है। यह एक समएन्ट्रापिक अवस्था वाले प्रवाह में स्थिर रहता है।

$$P_o = P\left(1+\frac{k-1}{2}M^2\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

(समीकरण 39)
(समीकरण 36 व 38 द्वारा)

एक समएन्ट्रापिक अवस्था में तुण्ड के लिए किन्हीं दो बिन्दुओं के अनुप्रस्थ काट क्षेत्र (Cross Sectional Area) को माख संख्या से निम्न ढंग से संबंधित किया जा सकता है।

$$\frac{A_y}{A_x}=\frac{M_x}{M_y}\left[\frac{1+\frac{k-1}{2}M_y^2}{1+\frac{k-1}{2}M_x^2}\right]^{\frac{k-1}{k+1}} \qquad \text{......................(40)}$$

साँख्यिक उदाहरण 1

उड़ान के पहले एक राकेट-यान का कुलभार 1000 किलोग्राम है। इसके राकेट मोटर का नोदक 15 सेकेण्ड तक जलता है। नोदक के घूर्ण ज्वलन के बाद यान का कुलभार 200 किलोग्राम रह जाता है। यान में राकेट मोटर के अतिरिक्त अन्य तंत्र जैसे कि पेलोड, नियंत्रण तंत्र, टेलीमीटरी आदि भी है। इनका भार 100 किलोग्राम है। यदि नोदक का विशिष्ट आवेग 225 सेकेण्ड हो तो निम्न पैरामीटर का मान ज्ञात करो।

(1) यान द्रव्यमान अनुपात
(2) राकेट का द्रव्यमान
(3) नोदक द्रव्यमान अंश

(4) नोदक प्रवाह दर

(5) प्रणोद

(6) विशिष्ट नोदक खपत

(7) प्रणोद-भार अनुपात

(8) अधिकतम वेगवृद्धि

(9) प्रभावी रेचन वेग और

(10) कुल आवेग

हल

यान का प्रारम्भिक द्रव्यमान = 1000 किग्रा

यान का अंतिम द्रव्यमान = 200 किग्रा

यान के अन्य तंत्रों का द्रव्यमान = 100 किग्रा

राकेट का प्रारम्भिक द्रव्यमान = 1000−100 = 900 किग्रा

नोदक का द्रव्यमान = 1000−100 = 900 किग्रा

राकेट का अंतिम द्रव्यमान = 900−800 = 100 किग्रा

विशिष्ट आवेग, I_{sp} = 225 सेकेण्ड

ज्वलन काल, t = 15 सेकेण्ड

(1) यान का द्रव्यमान अनुपात

$$MR = \frac{\text{यान का कुल अंतिम द्रव्यमान}}{\text{यान का कुल प्रारम्भिक द्रव्यमान}}$$

$$= \frac{200}{1000}$$

$$= 0.2$$

(2) राकेट का द्रव्यमान अनुपात

$$MR = \frac{\text{राकेट का अंतिम द्रव्यमान}}{\text{राकेट का प्रारम्भिक द्रव्यमान}}$$

$$= \frac{100}{900}$$

$$= 0.11$$

(3) नोदक द्रव्यमान अंश

$$MP = \frac{\text{नोदक का द्रव्यमान}}{\text{राकेट का प्रारम्भिक द्रव्यमान}}$$

$$= \frac{800}{900}$$

$$= 0.89$$

(4) नोदक प्रवाह-दर

$$\dot{w} = \frac{\text{नोदक का कुल भार}}{\text{ज्वलन काल}}$$

$$= \frac{800}{15}$$

= 53.33 किग्रा /सेकेण्ड

(5) प्रणोद

$F = I_{sp} \times \dot{w}$

= विशिष्ट आवेग × नोदक प्रवाह दर

$= 225 \times 53.33$

= 12000 किग्रा॰ बल

(6) विशिष्ट नोदक खपत

$$= \frac{1}{I_{sp}} = \frac{1}{\text{विशिष्ट आवेग}}$$

$$= \frac{1}{225}$$

$= 0.00444$ प्रति सेकेण्ड

(7) प्रणोद-भार अनुपात

$$\frac{F}{w_o} = \frac{\text{प्रणोद}}{\text{यान द्रव्यमान}}$$

प्रारम्भिक $\frac{F}{w_o} = \frac{12000}{1000}$

$= 12$

अंतिम $\frac{F}{w_f} = \frac{12000}{200}$

$= 60$

जहाँ F = प्रणोद

w_o = यान का प्रारम्भिक द्रव्यमान

w_f = यान का अंतिम द्रव्यमान

(8) अधिकतम वेगवृद्धि

$$= \frac{F}{w_f} \times g$$

$$= \frac{12000}{200} \times g$$

$$= 60 \times g$$

जहाँ g पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण है।

(9) प्रभावी रेचन वेग

$c = I_{sp} \times g$

$= 225 \times 9.8$

$= 2205$ मी/सेकेण्ड

जहाँ $c =$ प्रभावी रेचन वेग

$I_{sp} =$ विशिष्ट आवेग

(10) कुल आवेग

$I_t =$ (नोदक का कुल भार) $\times$ (विशिष्ट आवेग)

$= 800 \times 225$

$= 180000$ किग्रा बल सेकेण्ड

जहाँ $I_t =$ कुल आवेग

सांख्यिक उदाहरण 2

एक आदर्श राकेट के स्थैतिक परीक्षण में गैस धार के रेचन वेग की माख-संख्या 3 है और k का मान 1.25 है। राकेट के (i) दहन-कक्ष का दाब एवं (ii) तुण्ड के कंठ व निर्गम क्षेत्र का अनुपात ज्ञात करो।

हल

(i) **आदर्श राकेट** में तुण्ड से निकलने वाली गैस का निर्गम दाब बाहरी दाब के बराबर होता है। स्थैतिक परीक्षण की अवस्था में बाहरी दाब वायुमण्डलीय दाब अर्थात् 1 बार (bar) के बराबर होता है।

$$P_o = P\left(1+\frac{k-1}{2}M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$= \left(1+\frac{1.25-1}{2}\times 3^2\right)^{\frac{1.25}{1.25-1}}$$

$$= \left(1+\frac{0.25}{2}\times 9\right)^5$$

$$= (1+1.25)^5$$

$$= 43.3 \text{ बार}$$

(ii) $$\frac{A_e}{A_t} = \frac{M_t}{M_e}\sqrt{\left[\frac{1+\frac{k-1}{2}M_e^2}{1+\frac{k-1}{2}M_t^2}\right]^{\frac{k+1}{k-1}}}$$ (समीकरण 40)

M_t = कंठ पर प्रवाह की माख संख्या
= 1
M_e = निर्गम द्वार पर प्रवाह की माख संख्या
= 3
A_t = कंठ पर अनुप्रस्थ काट क्षेत्र
A_e = निर्गम पर अनुप्रस्थ काट क्षेत्र

$$\frac{A_e}{A_t} = \frac{1}{3}\sqrt{\left[\frac{1 + \frac{1.25 - 1}{2} \times 9}{1 + \frac{1.25 - 1}{2} \times 1}\right]^{\frac{1.25 + 1}{1.25 - 1}}} \quad \text{(समीकरण 41)}$$

$$= 5.83$$

8
द्रव नोदक का चुनाव

श्वेता और परितोष के बीच बहुत देर से इस पर झगड़ा चल रहा था कि ठोस नोदक वाला राकेट अधिक ऊपर जाएगा अथवा द्रव नोदक राकेट। श्वेता के बार-बार समझाने पर भी परितोष को विश्वास नहीं हो रहा था कि पानी जैसे दिखने वाले द्रव नोदक,ठोस नोदक से कहीं अधिक ऊर्जा दे सकते हैं। नोदक में आक्सीकारक व ईंधन दोनों का ही होना आवश्यक है। क्या ठोस नोदक की भाँति यहाँ भी द्रव आक्सीकारक और द्रव ईंधन दोनों एक साथ मिले होते हैं? इन्हें प्रज्वलित करने के लिए क्या साधन हैं? ये कितने प्रकार के होते हैं? ऐसे ही बहुत से प्रश्नों का उत्तर न केवल परितोष जानना चाह रहा था, बल्कि उसकी बड़ी बहन भी। उस समय तो श्वेता ने परितोष को किसी तरह समझा दिया। किन्तु उसके जिज्ञासु मन में द्रव नोदक के विषय में जानने की इच्छा और तीव्र हो गई। वह अपने विद्यालय के पुस्तकालय में जाकर वहाँ से राकेट संबंधित एक किताब ले आई। किन्तु उसमें दिए गए गणित के लंबे-लंबे समीकरण देखकर उसका सिर चकराने लगा। आखिर में उस पुस्तक को वह वहीं पटक कर अपने विज्ञान के अध्यापक के पास पुनः गई और प्रश्नों की झड़ी लगा दी। अध्यापक महोदय ने उसे विश्वास दिलाया कि वह अगले दिन कक्षा के सभी छात्रों को द्रव नोदक के विषय में विस्तार पूर्वक बताएँगे।

राकेट में उपयोग होने वाले ठोस और द्रव नोदक के विभिन्न गुणों की चर्चा करते हुए, वे अपने छात्रों को द्रव नोदक के चुनाव संबंधी विशेष बातें बताने लगे।

राकेट में ठोस नोदक ग्रेन, दहन कक्ष के अंदर ही स्थापित रहता है। इसके विपरीत द्रव

नोदक को दहन कक्ष के बाहर संचय टैंक में भर कर रखा जाता है। दहन के लिए निश्चित दर से इसे पाइप और नियंत्रण वाल्व की सहायता से दहन कक्ष के अंदर लाया जाता है। द्रव नोदक भी प्रायः अलग अलग भागों में होता है। एक द्रव आक्सीकारक है और दूसरा द्रव ईंधन। इन दोनों के प्रवाह-दर के अनुपात पर ही दहन कक्ष की क्रिया निर्भर करती है और इसी अनुपात पर दहन गैस की रचना, दहन, ताप, विशिष्ट आवेग आदि निर्भर करते हैं।

द्रव नोदक को दो वर्गों में बाँटा जा सकता है

(1) संचय योग्य नोदक

(2) निम्नतापीय नोदक

1. संचय योग्य नोदक

संचय योग्य नोदक को सामान्य ताप पर काफी लंबी अवधि के लिए द्रव की अवस्था में बनाए रखा जा सकता है। इसके उदाहरण हैं नाइट्रिक एसिड (Nitric Acid), एनिलीन (Aniline), एल्कोहल (Alcohol) नाइट्रोजन टेट्राक्साइड (Nitrogen Tetraoxide) आदि। ये सब नोदक द्वि प्रणोदक (Bipropellant) कहलाते हैं क्योंकि यहाँ आक्सीकारक व ईंधन अलग-अलग हैं। हाइड्राज़ीन (Hydrazene) व हाइड्रोजन पराक्साँइड (Hydrogen Peroxide) ऐसे दो उदाहरण हैं जहाँ आक्सीकारक व ईंधन एक ही द्रव में विद्यमान हैं। ऐसे द्रव नोदक को एकांगी नोदक (Monopropellant) कहा जाता है।

2. निम्नतापीय नोदक

निम्नतापीय नोदक बहुत नीचे ताप पर ही द्रव की अवस्था में रहता है। सामान्य ताप पर यह गैस की अवस्था में होता है। इस ताप पर द्रव नोदक उबलने लगता है और गैस में परिवर्तित हो जाता है। इसके उदाहरण हैं–द्रव आक्सीजन (क्वथनांक–183° से॰), द्रव हाइड्रोजन (क्वथनांक–253° से॰) और द्रव फ्लोरीन (क्वथनांक–188° से०)। इन नोदकों का विशिष्ट आवेग संचय नोदक की अपेक्षा अधिक ऊँचा होता है। किन्तु इनका घनत्व कम होने के कारण इन्हें संचय करने के लिए बहुत बड़े टैंक की आवश्यकता होती है।

द्रव नोदक के वर्गीकरण का एक अन्य ढँग है। यह इनके प्रज्वालन गुण से संबंधित है।

(1) स्पर्श ज्वलीय (Hypergolic)

(2) स्पर्श अज्वलीय (Nonhypergolic)

ऐसे आक्सीकारक व ईंधन जो एक दूसरे के सम्पर्क में आते ही ज्वलित हो उठते हैं, **स्पर्श ज्वलीय नोदक** कहलाते हैं और जो ठोस नोदक की भाँति आक्सीकारक व ईंधन के स्पर्श होने पर भी ज्वलित नहीं होते इन्हें **स्पर्श अज्वलीय नोदक** कहा जाता है। इनके प्रज्वलन के लिए इग्नाइटर की आवश्यकता होती है।

नोदक द्रव का चुनाव कई बातों पर आधारित रहता है। इनसे प्राप्त ऊर्जा तो मुख्य कारण ही है इसके साथ इनकी यथेष्ट मात्रा में उपलब्धि, कीमत, आविषालुता तथा अन्य पैरामीटर पर भी विचार किया जाता है। नीचे मुख्य-मुख्य द्रव नोदकों का संक्षिप्त विवरण दिया गया है।

1. हाइड्रोजन पराक्साँइड (H_2O_2)

यह एकांगी नोदक है। किन्तु इसे आक्सीकारक के रूप में भी प्रयोग किया जाता है। पोटेशियम परमैंगनेट जैसे उत्प्रेरक के संसर्ग में आने पर इसका वियोजन (Decomposition) प्रारम्भ हो जाता है और ऊष्मा, वाष्प व आक्सीजन गैस उत्पन्न होती है। यह आक्सीजन, हाइड्राज़ीन, हाइड्राज़ीन हाइड्रेट, एल्कोहल आदि जैसे द्रव ईंधनों के साथ प्रतिक्रिया करके और अधिक ऊर्जा उत्पन्न करती है। हाइड्रोजन पराक्साइड बहुत तेज़ अभिक्रियाशील रसायन है अतः यह काँच, स्टेनलेस स्टील के बने पात्रों में ही रखा जाता है।

2. नाइट्रिक एसिड (HNO_3)

रक्तधूमन और श्वेत धूमन नाइट्रिक एसिड (Red Fuming and white Fuming Nitric Acid—RFNA and WFNA) के दो उदाहरण हैं जिनका उपयोग द्रव आक्सीकारक के रूप में बहुत किया गया है। ये दोनों आक्सीकारक एनिलीन, हाइड्राजीन, एल्कोहल व गैसोलीन द्रव ईंधनों के साथ अच्छी तरह प्रतिक्रिया कर सकते हैं। WFNA में पानी और कुछ अन्य अशुद्धियाँ भी विद्यमान रहती हैं। RFNA में 20% तक N_2O_4 का अलग से भाग मिला होता है। ये अम्ल बहुत तीव्र संक्षारण (Corrosion) के कारण उपयोग में अनेक

कठिनाइयाँ उपस्थित करते हैं। इनके लिए टैंक, पाइप, वाल्व आदि को बहुत सावधानी से चुना जाता है। RFNA व एनिलीन,स्पर्श ज्वलीय हैं।

3. नाइट्रोजन टेट्रा-आक्साइड (N_2O_4)

इसका द्रव आक्सीकारक के रूप में हाइड्राजीन, यू.डी.एम.एच (Unsymmetrical Dimethyl Hydrazene— UDMH) आदि द्रव ईंधनों के साथ बहुत अच्छा द्रव नोदक का जोड़ा बनता है। आधुनिक द्रव नोदक राकेटों में इस प्रकार के जोड़े का बहुत उपयोग किया जाता है। N_2O_4 का घनत्व अधिक है और RFNA व WFNA की अपेक्षा कम संक्षारक है। यह कागज, लकड़ी आदि जैसे पदार्थों के संसर्ग में आते ही प्रज्वलित हो जाता है।

4. हाइड्राज़ीन व यूडीएमएच (Hydrazene— N_2H_4 and UDMH)

हाइड्राजीन का एकल नोदक के रूप में उपयोग बहुत होता है। अंतरिक्ष में घूमते हुए उपग्रहों का नियंत्रण प्रायः इसी द्रव नोदक के द्वारा किया जाता है। इसके अतिरिक्त इसका उपयोग ईंधन के रूप में RFNA,WFNA व स्ट्रांग हाइड्रोजन पराक्साइड के साथ भी होता है। UDMH का उपयोग द्रव ईंधन के रूप में इन्हीं आक्सीकारकों के साथ किया जाता है। हाइड्राजीन व यूडीएमएच दोनों के अच्छे गुणों को प्राप्त करने के लिए प्रायः इन दोनों का मिश्रण द्रव ईंधन के रूप में प्रयोग किया जाता है। हाइड्राजीन की अपेक्षा इस मिश्रण का हिमांक कम होता है अतः इसका कम ताप वाले वायुमण्डल में सरलता से उपयोग किया जा सकता है।

4. एथनॉल (Ethyl Alcohol, C_2H_5OH)

एथनॉल व पानी के मिश्रण को द्रव ईंधन के रूप में द्रव आक्सीजन के साथ उपयोग किया जाता है। राकेट के दहन कक्ष व तुण्ड की ऊष्मा का शोषण करने में पानी मिले इस मिश्रण की क्षमता में वृद्धि होती है। किन्तु यह भी सही है कि पानी के मिल जाने से इसके विशिष्ट आवेग में कुछ कमी भी हो जाती है।

6.केरोसीन, गैसोलीन, डीजल, PP—1,आदि

ये सभी पेट्रोलियम के हाइड्रोकार्बन डेरिवेटिव हैं। इन्हें आसानी से द्रव ईंधन के रूप में उपयोग किया जा सकता है। PP— 1 रिफायनरी द्वारा विशेष रूप से शुद्ध किया गया तेल है। इसे द्रव आक्सीजन के साथ उपयोग में लाया जाता है।

निम्नतापीय नोदक

निम्नतापीय नोदक से बहुत ऊँचा विशिष्ट आवेग प्राप्त होता है। इनको सैटर्न (Saturn) जैसे विशाल राकेटों में सफलतापूर्वक उपयोग में लाया गया है। किन्तु इनकी सबसे बड़ी कमजोरी है कि ये बहुत निम्न ताप पर ही द्रव की अवस्था में रह सकते हैं। इनके कुछ उदाहरण नीचे दिये गये हैं:

(1) **द्रव आक्सीजन, द्रव फ्लोरीनः** आक्सीजन कोLOXभी कहा जाता है। यह अनेक हाइड्रोकार्बन द्रव ईंधनों के साथ उत्तम द्रव नोदक बनाता है। इस आक्सीकारक का उपयोग **एटलस** (Atlas), **थार-डेल्टा** (Thor-Delta), **जुपिटर** (Jupiter) जैसे प्रसिद्ध राकेटों में किया गया है। द्रव आक्सीजन व द्रव हाइड्रोजन का जोड़ा निम्नतापीय द्रव नोदकों में सर्वश्रेष्ठ माना जाता है। इस जोड़े को सेन्टार (Centaur) व सैटर्न (Saturn) के ऊपरी खण्ड वाले राकेटों में किया गया है। LOXका आपेक्षिक घनत्व ऊँचा (1.14) होता है और साथ ही यह अविषालु (Non = toxic) है। संचय के दौरान, वाष्पीकरण के कारण इनकी मात्रा को कम होने से रोकने के लिए अच्छी रोधन-प्रणाली (Insulation System) की आवश्यकता पड़ती है।

द्रव फ्लोरीन का उपयोग द्रव आक्सीकारक के रूप में होता है। यह अन्य ईंधनों के साथ बहुत ऊँचा विशिष्ट आवेग देती है। द्रव आक्सीजन व द्रव फ्लोरीन के मिश्रण कोFLOXकहते हैं।इस मिश्रण को आक्सीकारक के रूप में उपयोग करते हैं। इस आक्सीकारक से द्रव आक्सीजन की अपेक्षा अधिक ऊँचा विशिष्ट आवेग प्राप्त होता है। किन्तु द्रव फ्लोरीन बहुत तीव्र अभिक्रियाशील

(Reactive) है और साथ ही विषैली भी। इससे उत्पन्न गैस जहरीली होती हैं। यही इसकी सबसे बड़ी कमी है।

(2) **द्रव हाइड्रोजनः** द्रव ईंधनों में सबसे हल्का द्रव हाइड्रोजन है। इसका आपेक्षिक घनत्व 0.07 है। इसका क्वथनांक भी सबसे कम होता है। इसके द्वारा नोदक से बहुत ऊँचा विशिष्ट आवेग प्राप्त होता है। किन्तु घनत्व बहुत कम होने के कारण इसके लिए बहुत बड़े संचय टैंक की आवश्यकता पड़ती है। इसमें बहुत अच्छी रोधन प्रणाली का उपयोग भी करना पड़ता है ताकि वाष्पीकरण के कारण इसकी मात्रा में होने वाली कमी को रोका जा सके।

9
आधुनिक राकेट-विज्ञान की भारत में प्रगति

श्वेता व उसके सहपाठी अपने विज्ञान के अध्यापक से बहुत संतुष्ट थे। उन्हें अब राकेट के विषय में बहुत कुछ मालूम हो गया था। वे राकेट के मुख्य-मुख्य भागों से भली भाँति परिचित हो चुके थे। उन्हें ठोस नोदक व द्रव नोदक राकेट की विशेषताओं को समझने में अब कोई कठिनाई नहीं होती। यही नहीं, उन्हें यह भी ज्ञात है कि उड़ाने के पहले राकेट को किस प्रकार की परीक्षा में उत्तीर्ण होना आवश्यक है।

इसी बीच उन्होंने समाचार पत्रों में पढ़ा कि भारत के **प्रथम ए एस एल बी राकेट** का श्रीहरिकोटा केन्द्र से शीघ्र ही प्रमोचन होगा। यह राकेट भारत के **प्रथम अंतरिक्ष यान एस एस बी–3** से अधिक शक्तिशाली है और यह उससे तीन गुणा भारी उपग्रह को ले जायेगा। इस समाचार को पढ़कर उनकी जिज्ञासा पुनः जागृत हो गई कि अपने देश भारत में राकेट कब से उड़ने लगे। ये कितने बड़े होते हैं? ठोस नोदक अथवा द्रव नोदक,किसका उययोग किया जाता है? इन राकेटों को कौन छोड़ता है? इस प्रकार के अनेक प्रश्न उनके मस्तिष्क में गूँजने लगे।

उनके इन प्रश्नों के उत्तर पाने के लिए अध्यापक महोदय ने विचार किया कि इन सभी छात्रों को अंतरिक्ष विभाग के एक केन्द्र में ले जाना लाभदायक रहेगा। पूर्व स्वीकृति लेकर वे अपने छात्रों के साथ श्रीहरिकोटा केन्द्र पहुँचे। वहाँ के अधिकारियों ने राकेट से संबंधित अनेक विभागों में ले जाकर छात्रों के बहुत से प्रश्नों के उत्तर दिये और भारत में इनकी प्रगति से उनको परिचित कराया।

भारत में राकेट विज्ञान का प्रारम्भ 1963 में हुआ जब संयुक्त राष्ट्र संघ की मदद से प्रथम राकेट प्रमोचन (Rocket Launching)के लिए राकेट प्रक्षेपण केन्द्र की स्थापना की गई।यह केन्द्र अरब सागर के तट पर, त्रिवेन्द्रम शहर से लगभग दस किलोमीटर दूर स्थित है। इस केन्द्र का नाम थुम्बा भूमध्यरेखीय राकेट प्रक्षेपण केन्द्र (Thumba Equatorial Rocket Launching Station—TERLS) है। चुम्बकीय भूमध्य रेखा इस केन्द्र के बहुत पास है। इसकी विशेष स्थिति के कारण, परिज्ञापन राकेट(Sounding Rocket) को यहाँ से प्रमोचन करने के लिए विश्व के अनेक वैज्ञानिक उत्सुक थे। चुम्बकीय भूमध्य रेखा के ऊपर प्रक्षेपित राकेटों से ऊपरी वायुमण्डल के बारे में कुछ विशेष जानकारी मिलती है। परिज्ञापन राकेट का उपयोग पृथ्वी के ऊपरी वायुमण्डल के अध्ययन के लिए किया जाता है। ये राकेट कुछ किलोमीटर से लेकर 400 किलोमीटर तक ऊपर उड़ सकते हैं और इनका प्रदाय भार कुछ किलोग्राम से लेकर 100 किलोग्राम तक हो सकता है।

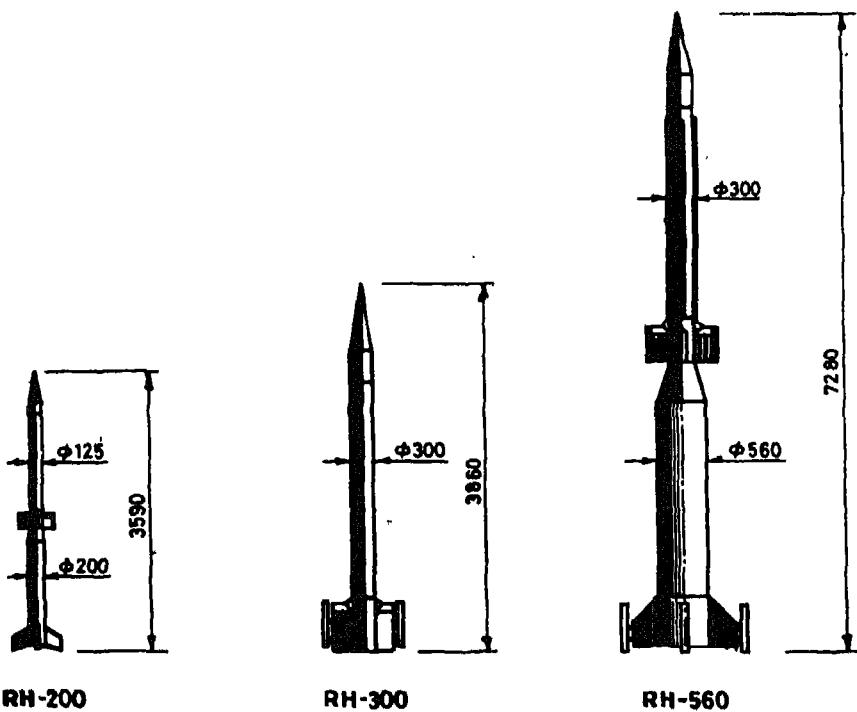
इस केन्द्र से सर्वप्रथम 21 नवम्बर 1963 को नाइक-अपाची (Nike-Apache) परिज्ञापन राकेट का प्रमोचन किया गया था। यह राकेट अमरीका से प्राप्त किया गया था। इसके बाद ही भारत में अपने निजी राकेटों के विकास की योजना बनी,और छोटे से लेकर बड़े राकेट की डिजाइन का श्रीगणेश हुआ। इसके फलस्वरूप रोहिणी नाम से परिज्ञापन राकेटों के अनेक माडल बनकर तैयार होने लगे। इनमें से तीन प्रमुख राकेट हैं RH—200,RH—300 और RH-560 इनको चित्र 27 में देखा जा सकता है। RH रोहिणी शब्द के लिए प्रयोग किया गया है। इसके बाद दी गई संख्या राकेट के व्यास का मिलीमीटर में सूचक है। इनके मुख्य विवरण तालिका 3 में दिए गए हैं। ये राकेट एक या दो खण्ड के हो सकते हैं। अर्थात् यदि एक दिए गए प्रदाय भार को एक निश्चित ऊँचाई तक ले जाने में एक खण्ड का राकेट समर्थ नहीं है तो इसमें एक और राकेट जोड़ दिया जाता है। नीचे वाले राकेट को प्रथम खण्ड राकेट अथवा प्रथम पद कहते हैं और ऊपर वाले राकेट को द्वितीय खण्ड राकेट अथवा द्वितीय पद कहा जाता है। नीचे वाले राकेट को अभिवर्धक (Booster) और ऊपर वाले राकेट को पोषित्र (Sustainer) भी कहा जाता है। भारत के रोहिणी राकेटों में RH-200 और RH-560 द्विपदीय राकेट हैं। एक राकेट अथवा कई राकेटों से मिलकर बने राकेट को केवल

सारणी 3
रोहिणी राकेटों के विशिष्ट पैरामीटर

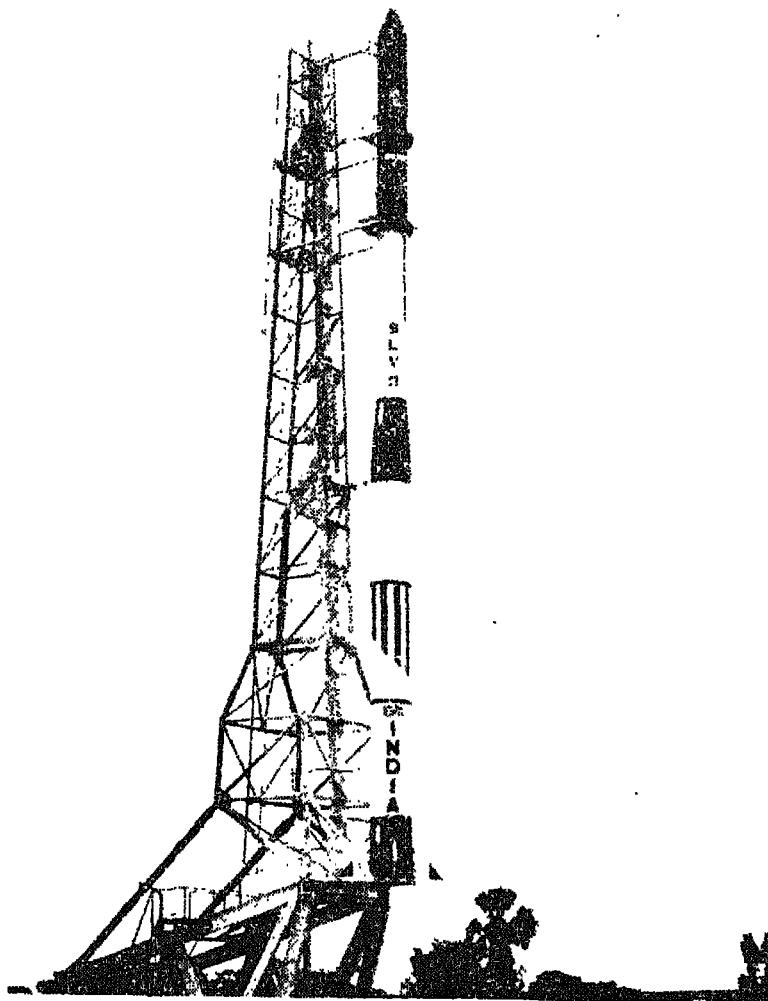
पैरामीटर	राकेट का नाम		
	RH-200	RH-300	RH-560
पद की संख्या	2	1	2
कुल लम्बाई (मिमी)	3590	3860	7280
कुल भार (लाँच के पहले) (किग्रा)	108	370	1350
पे लोड भार (किग्रा)	10	50	90
पे लोड व्यास (मिमी)	122	305	305
ऊँचाई 85^0 पर) (किमी)	88	130	365
उपयोग	मौसम विज्ञान	मध्य वायुमण्डल	F -क्षेत्र

राकेट अथवा यान (Vehicle) कहा जाता है। यान शब्द का उपयोग इसलिये किया गया है क्योंकि यह राकेट के प्रदाय भार को एक स्थान से ले जाकर दूसरे स्थान तक पहुँचाता है।

अंतरिक्ष-यान परिज्ञापन राकेट से भिन्न होते हैं। परिज्ञापन राकेट पृथ्वी की सतह से लगभग सीधे उड़ता है और अपनी अधिकतम ऊँचाई पर पहुँच कर प्रदाय भार छोड़ता है। इसके तुरंत बाद ही पृथ्वी के गुरूत्वाकर्षण बल के कारण राकेट व प्रदाय भार दोनों ही नीचे गिरना प्रारम्भ कर देते हैं। इसके विपरीत, एक अंतरिक्ष यान के निचले खण्ड के राकेट तो अपना कार्य पूरा करने के बाद नीचे आ गिरते हैं किन्तु इसका प्रदाय-भार अर्थात् उपग्रह और यान के अंतिम खण्ड का राकेट, वहीं पृथ्वी की कक्षा में रह जाते हैं। इस कारण अंतरिक्ष यान प्रायः कई राकेटों को जोड़कर बनाया जाता है और ये राकेट परिज्ञापन राकेट से कहीं अधिक शक्तिशाली होते हैं।

भारत में विकसित प्रथम अंतरिक्ष यान का नाम SLV -3 है। SLV से तात्पर्य है उपग्रह प्रमोचन यान (Satellite Launch Vehicle) । यहाँ चार राकेटों को एक के ऊपर एक रखकर समाकलन किया जाता है। इन चारों राकेटों में ठोस नोदक का ही इस्तेमाल किया जाता

चित्र 27–भारत के मुख्य-मुख्य साउन्डिंग राकेट

है। इस समाकलित राकेट अर्थात् यान की कुल लंबाई 22.7 मीटर है और प्रमोचन के समय इसका भार 17 टन होता है। यह यान 40 किग्रा भार वाले उपग्रह को पृथ्वी की निकट कक्षा अर्थात् 400 — 600 किमी. तक की दूरी पर स्थापित करने की क्षमता रखता है।

इसके प्रथम एवं द्वितीय खण्ड के राकेट केस 15 CDV6 इस्पात धातु के बने हैं और तृतीय तथा चतुर्थ खण्ड के राकेट केस FRP से बनाये गये हैं। इन विभिन्न खण्ड के राकेटों का मुख्य-मुख्य विवरण सारणी 4 में दिया गया है। इनको एक दूसरे के साथ जोड़ने का कार्य अन्तराचरण (Inter stage) द्वारा किया जाता है। यान के सबसे ऊपरी भाग में उपग्रह

चित्र 28–लॉंच पैड पर स्थापित SLV—3 उड़ने की तैयारी में

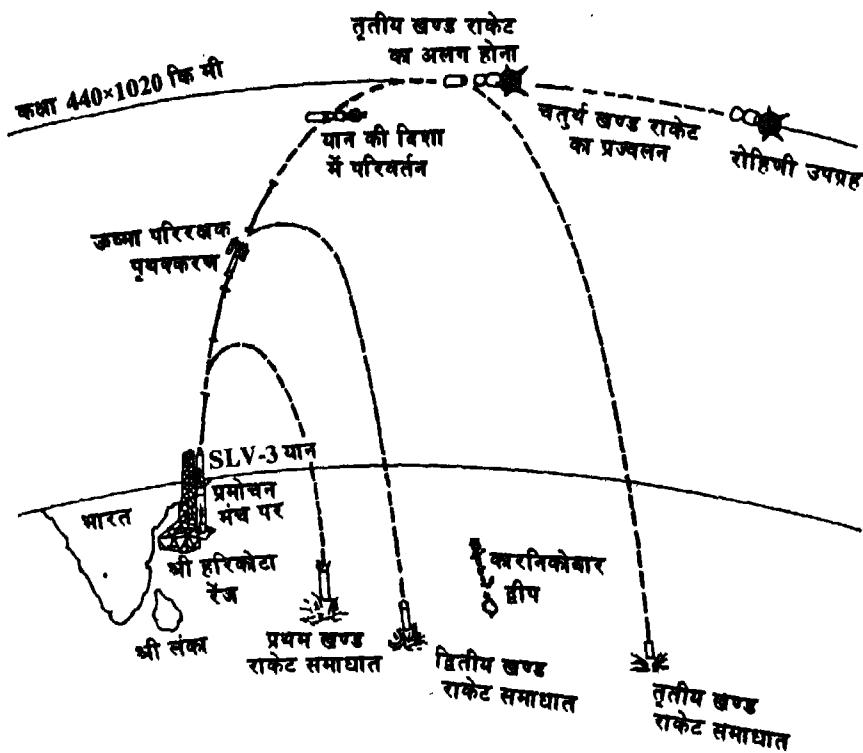
को स्थापित किया जाता है। इसमें अनेक इलेक्ट्रानिक यंत्र होते हैं। इन्हें वायुमण्डल में घर्षण से उत्पन्न ऊष्मा से बचाने के लिए ऊष्मा-परिरक्षक (Heat shield) से ढक दिया जाता है। चित्र 28 में सभी अंगों से सम्पूर्ण SLV -3 राकेट प्रमोचन मंच पर स्थापित दिखाया गया है। प्रथम खण्ड राकेट का प्रज्वालन करते ही यह ऊपर उठना प्रारंभ कर देगा। जब इसका नोदक जलकर समाप्त हो जाता है प्रथम खण्ड का राकेट केस यान के भाग से अलग हो जाता

सारणी 4

एस एल वी 3 के राकेट

क्रमांक पैरामीटर	राकेट			
	प्रथम खण्ड	द्वितीय खण्ड	तृतीय खण्ड	चतुर्थ खण्ड
1. व्यास (मिमी.)	1000	800	800	650
2. लम्बाई (मिमी.)	8700	4850	1620	860
3. राकेट केस की वस्तु सामग्री	15 CDV6	15CDV6	FRP	KEVALAR
4. नोदक का बंधक	PBAN	PBAN	HEF20	HEF20
5. पोर्ट आकृति	तारा	तारा	गोल त्रिज्य खाँचें,	गोल, त्रिज्य खाँचें,
6. नोदक भार (किग्रा.)	8600	3200	1080	320
7. ज्वलन काल (सेकेण्ड)	50	40	48	33
8. औसत प्रणोद (किग्रा. बल)	45000	21500	6500	2700
9. विशिष्ट आवेग (से०)	254	268		280

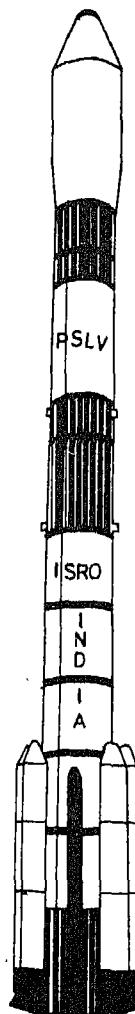
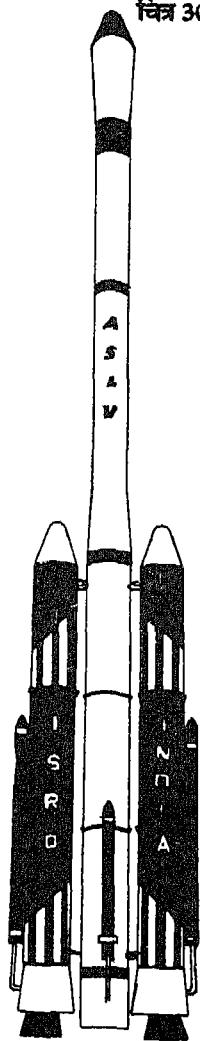
है तथा नीचे सागर में गिर जाता है। ठीक इसी समय द्वितीय खण्ड का राकेट प्रज्वलित होकर यान को ऊपर उठाता रहता है। इसी प्रकार तृतीय खण्ड राकेट की ज्वलन क्रिया प्रारंभ होती है। इसके ज्वलन के समाप्त होने पर चतुर्थ खण्ड राकेट और इससे संलग्न उपग्रह को नियंत्रण यंत्र की मदद से, ऊर्ध्वाधिर दिशा से मोड़कर पृथ्वी के पृष्ठ के समानान्तर कर दिया जाता है। तत्पश्चात् चतुर्थ खण्ड के राकेट की प्रज्वलन किया प्रारंभ की जाती है। इस ज्वलन के अंत तक उपग्रह का वेग इस सीमा

तक पहुँच जाता है कि यह पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण के होते हुए भी नीचे नहीं गिरता और वहीं पृथ्वी की कक्षा में स्थापित हो जाता है। इस कक्षा में यह उपग्रह बड़ी तेजी से चलता रहता है और लगभग 90−100 मिनट में पृथ्वी का एक पूरी चक्कर लगा लेता है। यान से विभिन्न राकेटों का अलग होना और उपग्रह का भूकक्षा में स्थापित होना आदि क्रियाओं को चित्र 29 में दर्शाया गया है।

चित्र 29– SLV—3 यान की उड़ान का अनुक्रम

इस यान के प्रथम प्रमोचन का सर्वप्रथम प्रयास 1979 में श्रीहरिकोटा केन्द्र से किया गया था। यह प्रयास, नियंत्रण यंत्र में एक त्रुटि उत्पन्न हो जाने के कारण पूर्ण सफल नहीं रहा। अगला प्रयास 18 जुलाई 1980 को किया गया जब उड़ान में पूर्ण सफलता प्राप्त कर रोहिणी नाम के उपग्रह को भूकक्षा में स्थापित कर दिया गया। यह दिन भारत के अंतरिक्ष इतिहास का एक स्वर्णिम दिन है। तबसे इस प्रकार के दो और राकेटों का सफलतापूर्वक प्रमोचन किया गया है।

रोहिणी उपग्रह, जो SLV—3 राकेट द्वारा भूकक्षा में पहुँचाया गया, बहुत कम भार का है अतः इसके द्वारा बहुत उपयोगी परीक्षण करना संभव नहीं है। इस कारण अधिक भार वाले उपग्रह को भेजने के लिए इसी राकेट का परिमार्जन किया गया है। इस नये अंतरिक्ष यान का नाम ASLV है। ASLV से तात्पर्य है Augmented SLV। इस यान में SLV-3 के सभी राकेटों का उपयोग किया गया है साथ ही प्रथम खण्ड राकेट के बगल में दो और उसी नाप के राकेट लगाये गये हैं। इन राकेटों को स्ट्रैप–आन (Strap-on) राकेट कहा जाता है। इनके कारण यान की क्षमता 40 किग्रा से बढ़कर 150 किग्रा हो गयी है। इसी यान के द्वारा रोहिणी से बड़ा उपग्रह, जिसे स्रास (Sross) कहते हैं, अंतरिक्ष में भेजा जायेगा। इस प्रकार के यान का उपयोग अगले 3-4 वर्षों में विशेष रूप से किया जायेगा। चित्र 30 में इस यान को देखा जा सकता है।

ASLV **यान** के परीक्षण द्वारा स्ट्रैप-आन तकनीक का पूरा विकास हो सकेगा। इसी तकनीक को अपनाते हुए और अधिक शक्तिशाली राकेटों के निर्माण की योजनायें बनायी जा रही हैं। अगले 3–4 वर्षों में भारत एक बहुत बड़े राकेट का निर्माण करके, प्रमोचन करने की स्थिति में हो सकेगा। इस यान का नाम PSLV है। इसका प्रथम खण्ड राकेट एएसएलवी राकेटों से कई गुना शक्तिशाली है। PSLV से तात्पर्य है, ध्रुवीय उपग्रह प्रमोचन यान (Polar Satellite Launch Vehicle)। इस यान में स्ट्रैप-आन के अतिरिक्त द्रव नोदक राकेटों का भी उपयोग किया जायेगा। इस यान के माडल को चित्र 31 में दिखलाया गया है। प्रथम खण्ड के राकेट से संलग्न 6 स्ट्रैप-आन राकेट हैं। ये राकेट ASLV के प्रथम खण्ड राकेट जैसे ही हैं। PSLV का प्रथम खण्ड राकेट बहुत बड़ा है। इसका व्यास 2.8 मी. है और

चित्र 30–ASLV अंतरिक्ष यान

चित्र 31– PSLV अंतरिक्ष यान

यह लगभग 16 मी. लम्बा है। इसमें भरे गये HTPB बंधक से बने ठोस नोदक का भार लगभग 130 टन है। द्वितीय खण्ड राकेट में द्रव नोदक इस्तेमाल होता है। UDMH ईंधन और N_2O_4 आक्सीकारक के रूप में उपयोग किया जाता है। इस यान का तीसरा खण्ड राकेट HTPB बंधक से बने लगभग 7 टन भार के ठोस नोदक से भरा जाता है। अंतिम खण्ड राकेट भी द्रव नोदक राकेट है। इसमें Mono Methyl Hydrazene (MMH) व N_2O_4 का इस्तेमाल किया गया है। यह यान 1000 किग्रा भार वाले उपग्रह को पृथ्वी की ध्रुवीय कक्षा में स्थापित करने की क्षमता रखता है।

निकट भविष्य में PSLV के अनेक परिमार्जित रूप आयेंगे। ये अत्यंत शक्तिशाली राकेट होंगे और इनके द्वारा IN SAT जैसे उपग्रह भूकक्षा में स्थापित किये जा सकेंगे।

अंतरिक्ष से संबंधित सभी कार्य भारत सरकार के अंतरिक्ष विभाग (Department of Space) के आधीन किये जाते हैं। भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन Indian Space Research Organisation—ISRO) इसी के अंतर्गत आता है। इस संगठन के प्रमुख केन्द्र त्रिवेन्द्रम, बंगलौर, श्रीहरिकोटा (शार) व अहमदाबाद में स्थित हैं। भारत के विभिन्न राकेटों तथा उपग्रहों के विकास, निर्माण और प्रमोचन की जिम्मेदारी इसी संगठन को सौंपी गई है।

संदर्भः

1. *Fundamental Aspects of Solid Propellant Rockets*—F.A. Willaims, M. Barrere, N.C. Huang.
2. *Balistique Interieure Theorique*—M.P. Tavernier.
3. *The performance of Chemical propellants*—L. Glassman, R.F. Sawer.
4. **भारतीय राकेट** SLV-3— डा० शिवप्रसाद कोस्टा
5. **ठोस राकेट मोटर के दोषान्वेषण में विकिरणी चित्रण का योगदान**–मणीश चन्द्र उत्तम
6. **एस.एल.वी–3 प्रमोचन यान**–मणीश चन्द्र उत्तम

7. *Sounding Rockets*—V. Sudhakar, A.C. Bahl, J.D.A. Subramanayam, R. Shankaran.
8. *20 Years of Rocketry in Thumba*—Published by Vikram, *Sarabhai Space Centre*, Indian Space Research organisation.
9. *Rocket Propellants and other chemicals for Space Technology*—Dr. V.R. Gowariker.
10. *Out Into Space by Rockets*—Dr. V.R. Gowariker.
11. *Solid Rocket Technology*—Shorr M. and Zaehringer.
12. *Rocket Propulsion Elements*—Sutton, G.P.